

Universidad Católica de Santa María

Escuela de Postgrado

Maestría en Ingeniería de Mantenimiento



**“OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE UNA FLOTA DE
MAQUINARIA PESADA, EN LA CONSTRUCCIÓN DE UN TRANQUE DE
RELAVES MINEROS”**

Tesis presentada por el bachiller:

Chávez Ordoñez, Remy Anthony

Para optar el Grado Académico de:

**Maestro en Ingeniería de
Mantenimiento**

Asesor:

Dr. Ticse Villanueva, Edwing Jesus

Arequipa- Perú

2020

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
ESCUELA DE POSTGRADO
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR DE TESIS

Arequipa, 17 de Mayo del 2020

Dictamen: 000308-C-EPG-2020

Visto el borrador de tesis del expediente 000308, presentado por:

2016001201 - CHAVEZ ORDOÑEZ REMY ANTHONY

Titulado:

OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE UNA FLOTA DE MAQUINARIA PESADA, EN LA CONSTRUCCIÓN DE UN TRANQUE DE RELAVES MINEROS

Nuestro dictamen es:

APROBADO

1058 - DAVILA DEL CARPIO GONZALO HERMILIO
DICTAMINADOR



1341 - TICSE VILLANUEVA EDWING JESUS
DICTAMINADOR



1842 - PACHECO OVIEDO ABRAHAM ARTURO
DICTAMINADOR



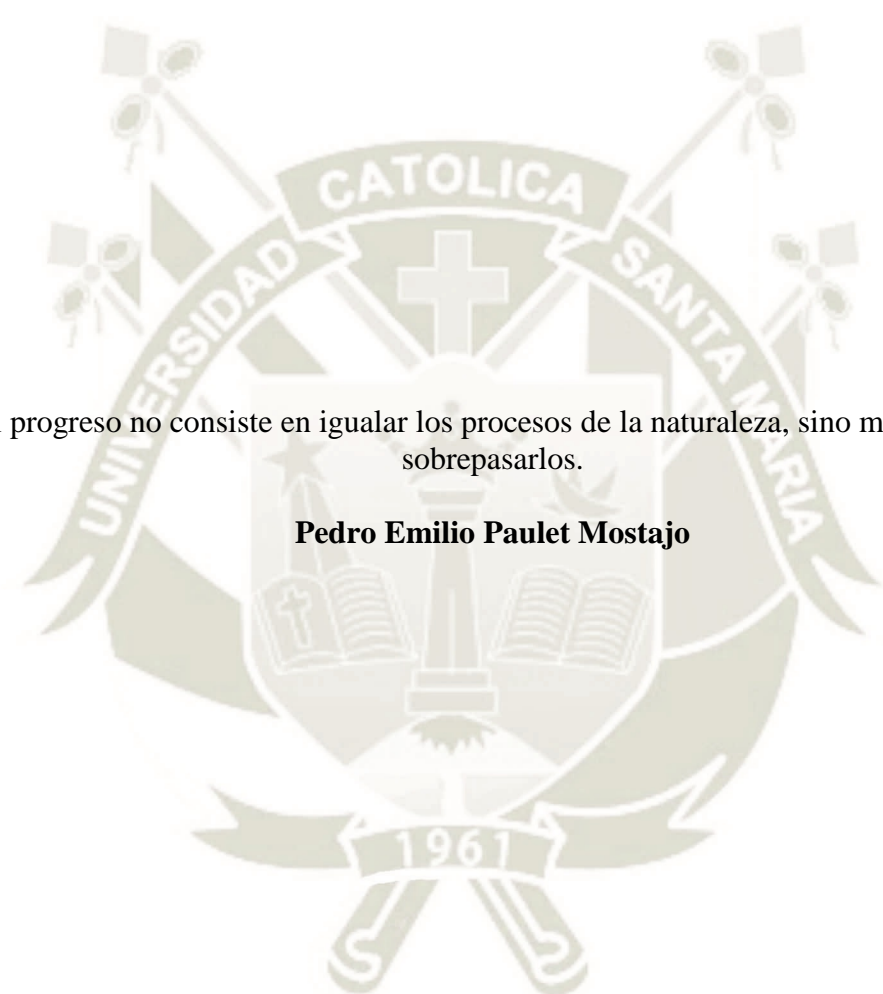


Dedicado a mis padres, que me enseñan diariamente a vivir con alegría, me alientan, me aman y sobre todo son los mejores amigos que tengo.



Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme la fortaleza para superar las dificultades que encontré en mi vida.

Agradezco al Ing. Julio Cesar Benavides Machaca por sus enseñanzas en mi desarrollo profesional y personal.



El progreso no consiste en igualar los procesos de la naturaleza, sino más bien en
sobrepasarlos.

Pedro Emilio Paulet Mostajo

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I.....	2
1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO.....	2
1.1 Enunciado del problema.....	2
1.2 Interrogantes del problema.....	2
1.3 Descripción del problema.....	2
1.3.1 Área del conocimiento.....	3
1.3.2 Tipo de investigación.....	3
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1 Objetivo general.....	3
1.4.2 Objetivos específicos.....	3
1.5. Justificación del problema.....	4
1.5.1 Aspecto general.....	4
1.5.2 Aspecto tecnológico.....	5
1.5.3 Aspecto social.....	5
1.6. Hipótesis.....	5
1.6.1 Análisis de variables.....	6
CAPITULO II.....	7
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Depósitos de relaves.....	7
2.1.1 Tipos de depósitos de relaves.....	7

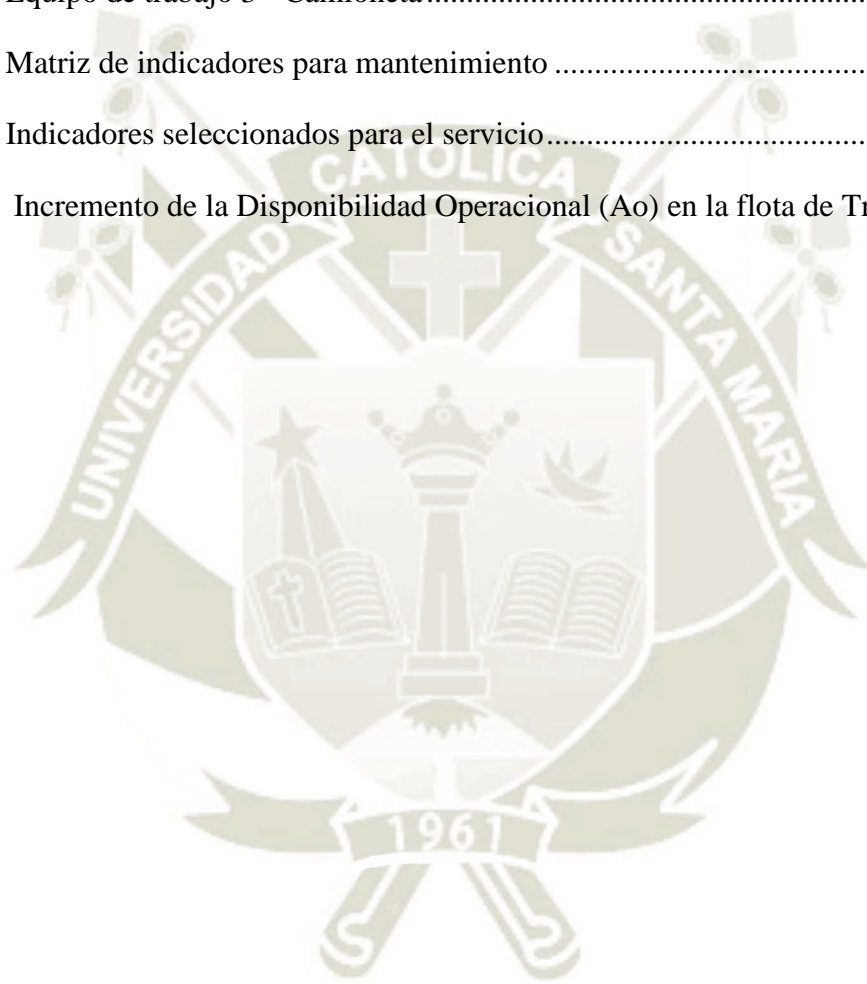
2.2 Tractores topadores.....	11
1.2.1 Tractor D8T CAT	11
1.2.2 Variables que afectan la vida útil del tren de rodamiento	12
a. Variables controlables.....	13
b. Variables no controlables	25
c. Variables controladas parcialmente	32
2.3 Optimización del Mantenimiento	34
2.4 El Mantenimiento Excelente	39
CAPITULO III	42
3. PROCESO DE OPTIMIZACIÓN INTEGRAL DEL MANTENIMIENTO	42
3.1. Diagnóstico de la situación inicial de trabajo.....	42
3.1.1 Análisis de criticidad	43
3.1.2 Definición del activo.....	46
3.1.3 Perdida de disponibilidad inherente.....	49
3.1.4 Taxonomía.....	53
3.2. Análisis del problema	54
3.2.1 Análisis de tareas	54
3.2.2 Análisis de disponibilidad operacional y carga laboral	67
3.2.2.1 Disponibilidad operacional.....	67
3.2.2.2 Carga laboral.....	68
3.3. Planificación	69
3.3.1 Actividades por equipo de trabajo:	71
3.3.2 Tercerización	75
CAPITULO IV	77

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	77
4.1 Resultados.....	77
4.2 Discusión	80
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81
CONCLUSIONES.....	81
RECOMENDACIONES	82
REFERENCIA BIBLIOGRAFÍA	83
ANEXOS	86
Anexo 1. Diagrama de decisión RMC II	87
Anexo 2. Ajuste de cadenas en tractores D8T CAT.....	88
Anexo 3. Ajuste de cadenas en excavadoras hidráulicas CAT.....	89
Anexo 4. Comba adecuada para cadenas en tractores CAT	90
Anexo 5. Identificación del eslabón en tractores CAT.....	91
Anexo 6. Código CTS de computador para tren de rodamiento CAT.....	92
Anexo 7. Modos de falla y condiciones de trabajo de los equipos en la construcción del tranque de relaves	93
Anexo 8. Términos y definiciones de confiabilidad ISO/TR 12489:2016	101
Anexo 9. Tipos de mantenimiento (EN 13306:2017).....	106
Anexo 10. Mantenimiento programado versus no programado (EN 13306:2017)	106
Anexo 11. Refrigeración en motor, sistema hidráulico y tren de potencia del tractor D8T CAT	107
Anexo 12. Hoja de ruta de inspección en Tractor D8T CAT	108
Anexo 13. Hoja de ruta de inspección en Excavadoras Hidráulicas CAT	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis de variables.....	6
Tabla 2. Equipos de la flota pesada	42
Tabla 3. Otros equipos de la flota.....	42
Tabla 4. Equipo de trabajo RCM.....	43
Tabla 5. Criterios para análisis de criticidad	44
Tabla 6. Rangos para matriz de criticidad	45
Tabla 7. Matriz de criticidad.....	45
Tabla 8. Ponderación de criterios de criticidad	46
Tabla 9. Descripción del Tractor topador D8T.....	46
Tabla 10. Contexto operacional.....	47
Tabla 11. Funciones del Equipo	48
Tabla 12. Registro semanal de actividades en tractores y excavadoras	49
Tabla 13. Perdida semanal de Ai por fallas referidas a tensado de tractores D8T	52
Tabla 14. Perdida semanal de Ai por fallas referidas a lavado de Tractores D8T	52
Tabla 15. Perdida semanal de Ai por fallas referidas a tensado y lavado de Tractores D8T	53
Tabla 16. Taxonomía del activo	54
Tabla 17. Origen de tareas en Tractores y Excavadoras.....	55
Tabla 18. Tiempos de parada semanales por tareas en Tractores y Excavadoras	56
Tabla 19. Análisis de modos, efectos y consecuencias de fallas.....	59
Tabla 20. Árbol lógico de fallas desarrollado.....	60
Tabla 21. Tareas propuestas en hoja de decisión RCM II.....	61
Tabla 22. Tareas restantes de top ten semanal seleccionado.....	62

Tabla 23. Líneas de Tiempo de parada o Down Time (DT).....	63
Tabla 24. Programación semanal de trabajos	69
Tabla 25. Equipo de trabajo 1- Camión Lubricador.....	71
Tabla 26. Equipo de trabajo 2 - Camión Cisterna	72
Tabla 27. Equipo de trabajo 3 - Camioneta.....	73
Tabla 28. Matriz de indicadores para mantenimiento	74
Tabla 29. Indicadores seleccionados para el servicio.....	74
Tabla 30. Incremento de la Disponibilidad Operacional (Ao) en la flota de Tractores D8T ...	78



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Métodos de construcción de depósitos de relaves	9
Figura 2. Partes de un depósito de relaves en general	10
Figura 3. Tractor topador D8T CAT	11
Figura 4. Tren de rodamiento de tractor D8T CAT.....	12
Figura 5. Ancho de zapata en tractores CAT.....	13
Figura 6. Partes del tren de rodamiento en un tractor D8T CAT	14
Figura 7. Zapatas en cadenas de tractor D8T CAT	15
Figura 8. Rueda delantera y rodillos inferiores D8T CAT.....	16
Figura 9. Eslabones, pasadores y bujes de cadena en tractor D8T CAT.....	16
Figura 10. Rueda dentada en tractor D8T CAT.....	17
Figura 11. Convergencia/divergencia en bastidor	18
Figura 12. Inclinación de bastidor	19
Figura 13. Arco en bastidor	19
Figura 14. Torsión en bastidores	20
Figura 15. Convergencia/divergencia en rueda guía	20
Figura 16. Desplazamiento lateral de rueda guía	21
Figura 17. Torsión/inclinación de rueda guía.....	22
Figura 18. Convergencia/divergencia en rueda motriz.....	22
Figura 19. Torsión en rueda motriz	23
Figura 20. Desplazamiento lateral de rueda motriz.....	23
Figura 21. Trabajo del tractor en pendiente lateral.....	29
Figura 22. Trabajo del tractor en cuesta abajo.....	30

Figura 23. Trabajo del tractor en cuesta arriba.....	30
Figura 24. Trabajo del tractor en abovedados	31
Figura 25. Trabajo del tractor en depresiones	32
Figura 26. Diagrama de Pareto – Frecuencia acumulada de tareas en Tractores y Excavadoras	57
Figura 27. Analisis de categorías básicas en el área de Mantenimiento.....	58
Figura 28. Tiempos de MTTRes/Intervenciones vs Nro. de paradas	64
Figura 29. Tiempos de MTTRes/Intervenciones vs Nro. de paradas con Líneas de Down Time	66
Figura 30. Camión lubricador.....	71
Figura 31. Camión cisterna de agua	72
Figura 32. Camioneta puck up 4x4.....	73
Figura 33. Matriz de decisión para tercerizar actividades de mantenimiento - modelo Price Waterhouse Coopers.....	75
Figura 34. Incremento de la Disponibilidad Operacional (Ao) en la flota de Tractores D8T ...	79

LISTA DE ABREVIATURAS

Ai: Disponibilidad Inherente.

Ao: Disponibilidad Operacional.

DT: Down time (Tiempo de parada).

HH: Horas-Hombre.

KPI: Key Performance Indicator (Indicador Clave de Desempeño).

MTTRes: Mean Time to Restoration (Tiempo Medio de Restauración).

MTTF: Mean Time to Failure (Tiempo Medio para la Falla).

MTBF: Mean time Between Failures (Tiempo Medio entre Fallas).

MRT: (Mean overall Repairing Time) tiempo medio de reparación general.

MUT: Mean Up Time (Tiempo Medio de Actividad).

MDT: Mean Down Time (Tiempo Medio de Parada).

OIM: Optimización Integral del Mantenimiento.

PM: Preventive Maintenance (Mantenimiento Preventivo).

RCM: Reliability Centered Maintenance (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad).

RESUMEN

El presente trabajo tiene la finalidad de mejorar la disponibilidad operacional de una flota de maquinaria pesada que labora en la construcción de un tranque de relaves ubicado al sur del territorio peruano a 1500 m s. n. m. en una unidad minera. La mejora está enfocada en los equipos de la flota que están generando necesidades significativas en gestión, mano de obra calificada y recursos materiales, las cuales impactan en la disponibilidad operacional de la flota, estos equipos están conformados por 12 tractores topadores D8T CAT y 5 excavadoras hidráulicas 326D2L CAT.

Las tareas de mantenimiento de los equipos críticos de la flota se verifican dentro de su contexto operacional, obteniendo tareas realizadas por fallas o por necesidad que tienen una alta ocurrencia y que generan los mayores tiempos de parada en los equipos, además, se analizan las categorías básicas que integran la función del área de Mantenimiento y el origen, causas, efectos y consecuencias de los tiempos de paradas en los equipos.

Mediante la herramienta de la optimización integral del mantenimiento y como soporte la utilización del ciclo de mejora continua y el mantenimiento centrado en confiabilidad, la disponibilidad operacional en los equipos críticos de la flota obtuvo un incremento del 4%, esto representa un 97% de los tiempos de paradas más frecuentes de los equipos. Por lo tanto, se concluye que las herramientas de gestión utilizadas, definieron actividades apropiadas para los equipos en su contexto operacional, las cuales se realizaron de una manera cualitativa y cuantitativa, logrando grandes resultados en la gestión del mantenimiento de la unidad minera.

Palabras clave: disponibilidad operacional, equipos críticos, contexto operacional, optimización integral del mantenimiento, mantenimiento centrado en confiabilidad, tractores topadores D8T CAT.

ABSTRACT

The present work aims to improve the operational availability of a heavy machinery fleet that works in the construction of a tailings dam located in the south of the Peruvian territory at 1500 m a. s. l. in a mining unit. The upgrade is focused on fleet equipment that is generating significant needs on management, skilled labor and material resources, which impact on the fleet operational availability, the equipment consist in 12 bulldozers D8T CAT and 5 hydraulic excavators 326D2L CAT.

Maintenance tasks of the fleet critical equipment are verified within their operational context, getting tasks performed due to necessity or failures that have a high occurrence and generate the longest downtime in the equipment, furthermore, it has been analyzed the basic categories that make up the function of the Maintenance area and the origin, causes, effects and consequences of equipment downtime.

By means of the maintenance integral optimization tool and the continuous improvement cycle and reliability centered maintenance as support, the operational availability on fleet critical equipment obtained an increase of 4%, this represent 97% of the most frequent downtime in the equipment. Therefore, it has been concluded that the management tools used, defined appropriate activities for the equipment in their operational context, which were carried out in a qualitative and quantitative way, achieving great results in the mining unit maintenance management.

Keywords: operational availability, critical equipment, operational context, maintenance integral optimization, reliability centered maintenance, bulldozers D8T CAT

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se refiere a la Optimización Integral del Mantenimiento, que se puede definir como un proceso que permite maximizar la disponibilidad de los activos físicos y minimizar los paros imprevistos en una organización, de tal forma que se pueda tener unos costos adecuados de producción, además propone en función del plan estratégico corporativo un enfoque para ejercer sus funciones en un marco conceptual integral, sistémico, estructurado y global.

La característica principal de la optimización del mantenimiento, es que implica lograr una mayor productividad mediante el incremento de eficiencia y eficacia, en las labores de mantenimiento de organizaciones que tengan pérdidas de disponibilidad en sus equipos. Eficiencia hace referencia a la ejecución de acciones de calidad en el menor tiempo posible y eficacia a la ejecución de acciones tendientes a obtener excelentes resultados para alcanzar los objetivos propuestos.

Para analizar esta problemática es necesario mencionar sus causas. Entre ellas tenemos la carencia de talento humano, el manejo de recursos físicos y repuestos, la falta de justificar con costos reales las decisiones de gestión y formular políticas administrativas para fijar y controlar la eficiencia del mantenimiento.

Este proyecto se realizó con el interés de ampliar los conocimientos de la Gerencia de Mantenimiento en las diferentes unidades mineras del Perú, especialmente en la gestión llevada en el área de relaves, ya que el manejo de relaves es una operación clave. Los relaves contienen elementos que alteran el medio ambiente, por lo que deben ser almacenados en tranques o depósitos de relaves, donde se evita la contaminación y filtración al suelo. El agua es recuperada mayormente para enviarla nuevamente a los procesos mineros de concentración de minerales.

Las empresas de minería, además de reutilizar el agua de los relaves, están dedicando esfuerzos a la reutilización de estos residuos de los tranques de relaves para reducir su impacto medioambiental y generar nuevas fuentes de ingresos, es por ello que es necesario tener disponibles los equipos del área para la construcción continua y adecuada de los tranques de relaves.

CAPITULO I

1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1.1 Enunciado del problema

Frente a los problemas de disponibilidad de los equipos involucrados en la construcción del tranque de relaves por las continuas paradas imprevistas que sufren, se necesita optimizar la gestión del mantenimiento para permitir una operación confiable y segura.

1.2 Interrogantes del problema

¿La optimización integral del mantenimiento mejorará la organización en el área de mantenimiento?

¿La optimización de la gestión de mantenimiento incrementará la disponibilidad de la flota de quipos?

¿Será estratégicamente factible tercerizar las actividades que optimizarán el área de mantenimiento?

1.3 Descripción del problema

Actualmente el área de mantenimiento está encargada de ejecutar el mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos de planta y la flota de equipos móviles en la construcción del tranque de relaves, el área cuenta con personal tercerizado para realizar el mantenimiento de la flota de equipos, también cuenta con personal propio que está orientado a efectuar el mantenimiento de las plantas de procesos de relaves. El personal propio de la empresa, además de realizar tareas en las plantas, realiza tareas de soporte en campo a la flota de equipos móviles, tales como el abastecimiento de combustible y lubricación, sin embargo también atienden diferentes fallas originadas por el contexto operacional las cuales están generando alrededor de 170 horas-hombre adicionales semanalmente de carga laboral por realizar y retrasos de trabajos programados, además se calcula una pérdida de disponibilidad operacional extra del 4.24% en

cada equipo crítico debido a la falta de organización del área de mantenimiento en atender correctamente las paradas de los equipos originadas por el contexto operacional, es por ello que se necesita analizar y optimizar la gestión de estas tareas.

1.3.1 Área del conocimiento

Área de conocimiento: Ciencias e Ingenierías.

Línea: Gestión del mantenimiento.

1.3.2 Tipo de investigación

Esta investigación es explicativa, se trata de un tipo de investigación que descubre el por qué y el para qué de un fenómeno, revela las causas y efectos de lo estudiado mediante una explicación del fenómeno de forma deductiva a partir de teorías o leyes, se aplican métodos cualitativos y cuantitativos ya que se analiza datos históricos de la información obtenida. Cabe decir que también es de tipo experimental, debido a que se emplean los conocimientos obtenidos, logrando resultados tangibles y sostenibles.

1.4. Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar el proceso de Optimización Integral del Mantenimiento en una flota de maquinaria pesada perteneciente a la construcción de un tranque de relaves mineros, el cual permita incrementar la disponibilidad operacional de la flota crítica.

1.4.2 Objetivos específicos

- Identificar los recursos, mano de obra y materiales para ejecutar las nuevas tareas de mantenimiento encontradas en el área.

-Definir equipos de trabajo y la forma en que se desarrollarán las nuevas actividades de mantenimiento integrados a la gestión actual.

-Evaluar la viabilidad de tercerizar las nuevas actividades de mantenimiento obtenidas en el proceso de optimización del mantenimiento para evitar la sobrecarga laboral.

- Definir aquellos indicadores de gestión más apropiados para visualizar la efectividad de las actividades producto de la optimización del mantenimiento.

- Determinar el ahorro monetario producido por evitar que la flota crítica y semi-crítica presenten paradas durante operación.

1.5. Justificación del problema

El proyecto propone mejorar los diferentes inconvenientes que sufre el área de mantenimiento para atender las paradas de los equipos en campo a través de la optimización de la gestión de esta área, evitando retrasos en la producción y mejorando la disponibilidad y confiabilidad de los equipos en las operaciones.

1.5.1 Aspecto general

En función del plan estratégico de mantenimiento, mejorar el enfoque para realizar sus actividades de una manera integral, sistémica y estructurada, las cuales están presentando los siguientes principales inconvenientes en campo:

-Ausencia de una metodología en la gestión del mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos.

-Falta de personal, entrenamiento y mano de obra calificada para realizar las tareas.

-Deficiencia en la programación, seguimiento y supervisión eficaz de actividades en campo.

-Falta de liderazgo, asignación de tareas y organización del personal.

1.5.2 Aspecto tecnológico

Mejorar la gestión del mantenimiento empleando herramientas modernas como la optimización integral del mantenimiento, el mantenimiento centrado en confiabilidad y prácticas del mantenimiento excelente, logrando que el área de mantenimiento sea competitiva en su contexto operacional.

1.5.3 Aspecto social

La optimización integral en la gestión del mantenimiento obtiene una estrategia la cual repotenciará las actividades de mantenimiento, trabajando con seguridad y cuidando el medio ambiente, además se obtiene una mejor coordinación entre las diferentes áreas como Mantenimiento, Operaciones, Logística, y SSOMA. Cabe resaltar también que el desarrollo de este proyecto generará nuevos puestos de trabajo, debido a la necesidad de horas-hombre en el área.

1.6. Hipótesis

Dado que existen pérdidas de disponibilidad operacional en una flota de maquinaria pesada en la construcción de un tranque de relaves mineros, es factible que aplicar la herramienta de Optimización Integral del Mantenimiento (OIM), permita incrementar la disponibilidad operacional de la flota, mejorando los inconvenientes que afectan al área de mantenimiento para atender las paradas imprevistas de los equipos móviles, garantizando una operación segura y confiable.

1.6.1 Análisis de variables

Tabla 1. Análisis de variables

Variables	Tipos de variable	Unidad de medida	Indicadores	Herramientas	Definición conceptual	Definición operativa
Mantenibilidad	Independiente	Porcentaje	MTTRes (tiempo medio de restauración)	Tiempo empleado en tareas por condición y tiempos de reparación	La mantenibilidad es la propiedad de un sistema que representa la cantidad de esfuerzo requerida para conservar su funcionamiento normal o para restituirlo una vez que presente una falla. Se dirá que un sistema es altamente mantenible cuando el esfuerzo asociado a la restitución es bajo y un sistema poco mantenible o con baja mantenibilidad requieren de grandes esfuerzos para mantenerse o restituirse.	La mantenibilidad es la probabilidad de devolver un activo físico a sus condiciones operativas, en un cierto tiempo, utilizando procedimientos predeterminados. La mantenibilidad está en función del diseño del equipo, accesibilidad y facilidad de diagnóstico que facilitan el mantenimiento del activo. Un indicador involucrado en la mantenibilidad es el Tiempo medio de restauración (Mean Time To Restoration o MTTRes) que es el tiempo medio que toma restaurar un activo físico después de una falla
Confiabilidad	Independiente	Porcentaje	MTTF (tiempo medio para la falla)	Frecuencia de ocurrencia de fallas, revisión de modos de fallas frecuentes, análisis de fallas	La confiabilidad es la probabilidad de que un activo cumpla su función principal bajo condiciones de trabajo determinadas y en un tiempo establecido	La confiabilidad es lograr que un ítem haga el trabajo deseado y en el momento que queremos que lo haga. Un indicador asociado a la confiabilidad es el tiempo medio para la falla (Mean time to failure o MTTF) que indica el intervalo de tiempo más probable entre el arranque de un equipo o sistema y la ocurrencia de una falla
Carga de trabajo	Independiente	Porcentaje	Workload to perform (Carga de trabajo por realizar)	Total de horas-hombre en trabajos por hacer y HH disponibles por el equipo de trabajo	El Workload es la carga de trabajo por hacer actualmente y realizado por una persona o equipo de trabajo dentro de un periodo específico	La carga laboral de trabajos expresada en semanas es el trabajo que debe realizar el equipo de mantenimiento en la programación actual del área, este indicador requiere las horas hombre totales por ejecutar y las horas hombre disponibles semanales
Tercerización	Independiente	Parámetros de viabilidad	Cumplimiento de requisitos para tercerización	Matriz de decisión para la selección de actividades a tercerizar, tipo de actividad a tercerizar y el análisis de realización interna de actividades por tercerizar	La tercerización también llamada subcontratación o externalización, es un proceso empresarial en el cual una empresa delega ciertas tareas por requerimientos propios a una empresa externa especializada en la prestación de servicios, creando una alianza estratégica que tiene como objetivo el éxito de ambos	Un objetivo del Mantenimiento es asegurar la competitividad de la empresa, por lo cual es necesario aumentar la confiabilidad de los equipos, es decir disminuir la cantidad de fallas que generan paradas no programadas, de manera de poder entregar la disponibilidad requerida por operaciones, asegurando los niveles de calidad, seguridad y medioambiente. Para realizar la tercerización de actividades de mantenimiento se tiene que analizar la mano de obra, entrenamiento, habilidades, herramientas de trabajo, necesidad de horas hombre, etc. Dependiendo el caso de la industria.
Disponibilidad	Dependiente	Porcentaje	Disponibilidad operacional (Ao) e inherente (Ai)	Tiempo operativo medio, tiempo de parada, tiempo medio entre fallas y tiempo medio de reparaciones en los equipos	La disponibilidad es una función que permite ver el porcentaje de tiempo total que se puede esperar que un equipo este operativo para cumplir su función principal para la cual fue destinado	En términos de mantenimiento, la disponibilidad operacional se basa en el tiempo de parada en relación al mantenimiento correctivo y preventivo, en cambio la disponibilidad inherente (Ai) solo está referida al tiempo de parada por mantenimiento correctivo y está involucrada a la confiabilidad. A través del estudio de los factores que influyen sobre la disponibilidad como el MTTF y el MTTRes es posible para la gerencia evaluar distintas alternativas de acción para incrementarla

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Depósitos de relaves

El relave es un sólido finamente molido, que se descarta en operaciones mineras. La minería de sulfuros de cobre extrae grandes cantidades rocas del yacimiento que se explota. Sólo una pequeña fracción corresponde al elemento de interés económico que se desea recuperar (algo menos de 1%). Una vez que ese material ha sido finamente molido y concentrado por procesos de flotación, se obtiene un material (el concentrado) con una concentración más elevada de cobre (entre 20 y 30%), que se puede vender como concentrado o procesar hasta cobre metálico puro. El resto del material (muy pobre en cobre) se le llama “relave”, y se debe depositar de forma segura y ambientalmente responsable (SERNAGEOMIN, 2019).

Un depósito de relaves es una obra de ingeniería diseñada para satisfacer exigencias legales nacionales, de modo que se aisle completamente los sólidos (relaves) depositados del ecosistema circundante. Antes de permitir que se instale un depósito de relaves, se evalúa rigurosamente su diseño. Luego, se verifica la correcta construcción y operación, que debe cumplir normas precisas de seguridad y estabilidad. En términos prácticos, se adoptan varias medidas, como mantener los muros compactados, no saturados, con una cantidad baja de finos y un sistema de monitoreo en los muros y acuerdos que la empresa ha debido adoptar durante las etapas de diseño (SERNAGEOMIN, 2019).

2.1.1 Tipos de depósitos de relaves

Hay varios tipos de depósitos de relaves, que varían según la cantidad de agua que acompaña al relave, es decir, la densidad del relave, y según la forma de contener lo que deposita. De esta forma existen los siguientes tipos:

- Tranque de Relave: depósito en el cual el muro es construido compactando la fracción más gruesa del relave proveniente de un hidrociclón (operación que separa sólidos gruesos de sólidos

más finos, mediante impulsión por flujo de agua). La parte fina, denominada Lama, se deposita en la cubeta del depósito.

- Embalse de relave: es aquel depósito donde el muro de contención está construido de material de empréstito (tierra y rocas aledañas) y se encuentra impermeabilizado en el coronamiento y en su talud interno. También se llaman embalses de relaves aquellos depósitos ubicados en alguna depresión del terreno en que no se requiere construcción de un muro de contención.

- Relave Espesado: depósitos en el que la superficie es previamente sometida a un proceso de sedimentación, en un equipo denominado espesador, que favorece la sedimentación de los sólidos (de manera similar a la limpieza de agua de ríos para hacer agua potable), con el objetivo de retirar parte importante del agua contenida, la que puede ser re-utilizada para reducir el consumo hídrico de fuentes de agua limpia. El depósito de relave espesado se construye de forma tal que impida que el relave fluya a otras áreas distintas a las del sitio autorizado, y contar con un sistema de piscinas de recuperación de agua remanente que pudiese fluir fuera del depósito.

- Relave Filtrado: es similar al espesado. Se trata de un depósito en que el material contiene aún menos agua, gracias al proceso de filtrado, para asegurar así una humedad menor a 20%.

- Relave en pasta: corresponden a una mezcla de agua con sólido, que contiene abundantes partículas finas y bajo contenido de agua, de modo que la mezcla tenga una consistencia espesa, similar a una pulpa de alta densidad.

- Otros tipos: existen otros tipos de depósitos de relaves, como por ejemplo los depósitos en minas subterráneas, en rajes abandonados, entre otros.

Los depósitos de relave se construyen mediante la elevación de muros de contención, durante la operación del depósito, salvo en el caso de uso de depresiones naturales que no requieren muros. Existen 2 formas seguras de elevar muros “Construcción Aguas Abajo” y “Construcción de Eje Central” (SERNAGEOMIN, 2019).

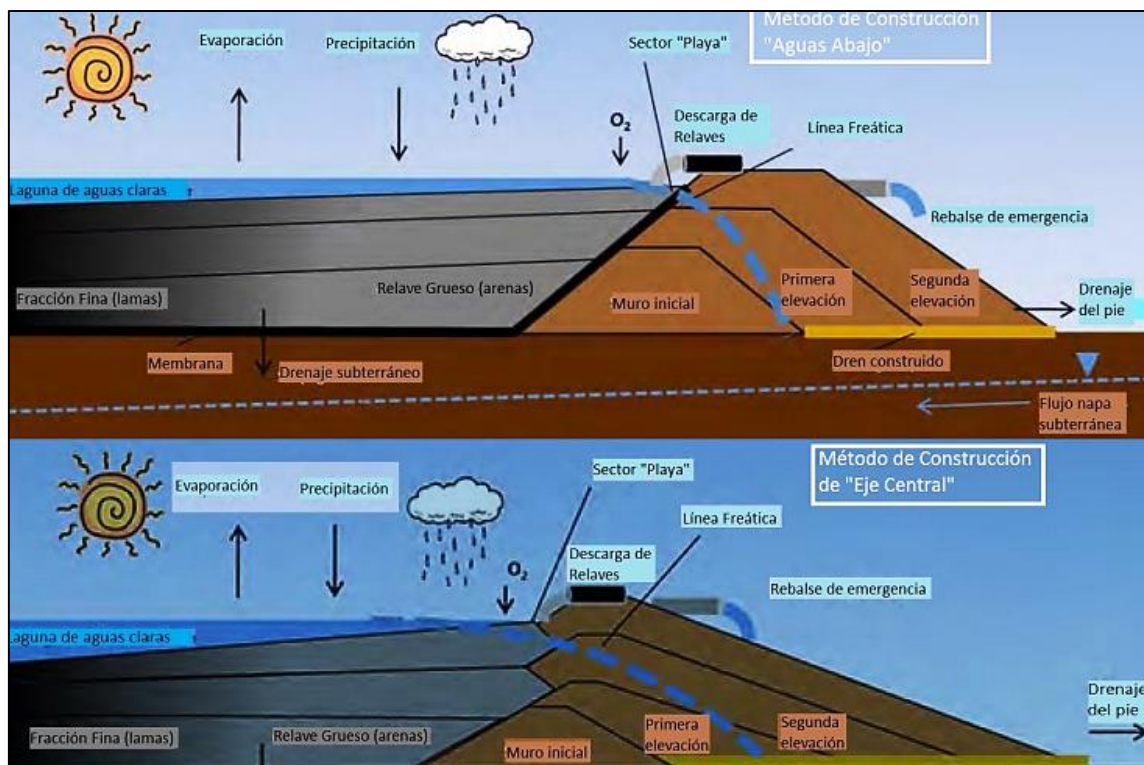


Figura 1. Métodos de construcción de depósitos de relaves

Fuente: SERNAGEOMIN (2019). Preguntas frecuentes sobre relaves

Las partes principales de un depósito de relaves son las siguientes:

-Muro: obra de ingeniería que permite contener los residuos sólidos que en ella se descargan, es decir, delimita la cubeta.

-Cubeta: corresponde al volumen físico disponible para el depósito de relaves (lamas), junto con gran parte del agua de los relaves. En la cubeta, el agua se localiza en la laguna de aguas Claras.

-Laguna de aguas claras: los relaves que se depositan (lamas) en la cubeta, que llega en una mezcla del sólido con agua para su transporte, en tanto los sólidos sedimentan a las capas inferiores, el agua forma esta laguna de aguas claras debido a la sedimentación de las partículas finas (SERNAGEOMIN, 2019).

-Sistema de drenaje: sistema utilizado para retirar al grado adecuado del agua del interior del muro, con el objetivo de deprimir al máximo el nivel freático en el interior del cuerpo del muro.

-Revancha: es la diferencia menor, en cota, entre la línea de coronamiento del muro de contención y la superficie inmediatamente vecina de la fracción lamosa o de la superficie del agua, que se produce en los tranques y embalses de relaves (SERNAGEOMIN, 2019).

-Coronamiento: es la parte superior del prisma resistente o muro de contención, muy cercano a la horizontal.

-Canal de contorno: canal de desvío de las aguas de la cuenca que captan y desvían las escorrentías superficiales, impidiendo el ingreso a la cubeta del depósito de relaves.

-Playa activa: zona donde se descargan los relaves en la cubeta, se le denomina playa porque usualmente esta seca en la superficie y se asemeja a una playa de arenas finas. Es la parte del depósito de relaves o lamas situada en las cercanías de la línea de vaciado (SERNAGEOMIN, 2019).

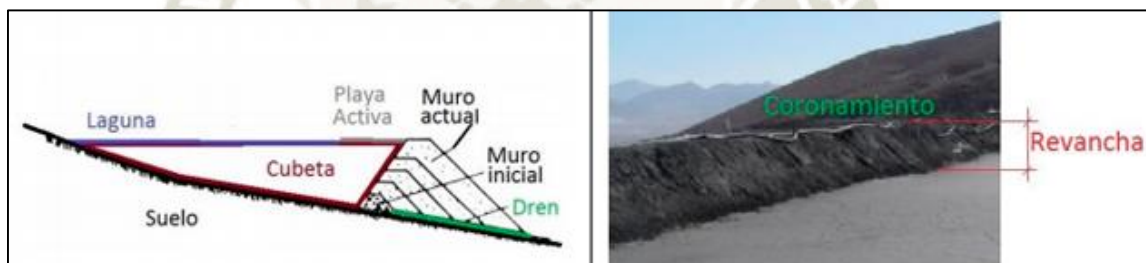


Figura 2. Partes de un depósito de relaves en general

Fuente: SERNAGEOMIN (2019). Preguntas frecuentes sobre relaves

2.2 Tractores topadores

1.2.1 Tractor D8T CAT

El D8T es un tractor que realiza tareas de empuje, trabajos de mototraílla, escarificación, y limpieza de terrenos hasta nivelación de acabado, es una máquina construida sobre un resistente bastidor principal diseñado para absorber las altas cargas de impacto y fuerzas de torsión en la operación, tiene una hoja de acero de alta resistencia a la tracción que soporta las tareas más difíciles. El tren de rodamiento de servicio pesado es perfecto para aplicaciones agresivas como limpiar terrenos, pendientes laterales o trabajos en terrenos rocosos o irregulares. El tractor D8T presenta un tren de rodamiento totalmente suspendido que proporciona más contacto con el suelo, especialmente en terrenos duros e irregulares, tiene una mayor tracción lo que significa menos patinaje, más equilibrio y una conducción más suave, además el diseño de rueda cabilla elevada ayuda a cuidar los componentes principales contra altos impactos y proporciona un diseño modular que resulta conveniente para realizar el mantenimiento. Los componentes del tren de rodamiento trabajan como un sistema integrado para mover la máquina en cualquier terreno, las piezas del tren de rodamiento son las de más uso en la máquina, constituyen un costo muy alto de reparación por lo cual es conveniente analizar que variables afectan a la vida útil de estas (Caterpillar, 2007).



Figura 3. Tractor topador D8T CAT

Fuente: Caterpillar (2019). Tractores topadores

1.2.2 Variables que afectan la vida útil del tren de rodamiento

Se pueden dividir en tres grupos principales las variables que determinan la vida útil del sistema del tren de rodamiento y el equilibrio entre los componentes. El primer grupo son las variables controlables que incluyen la tensión de la cadena, el ancho de la zapata, el equilibrio de la máquina y la alineación de los componentes.

El segundo grupo son las variables no controlables, que es determinado en un 100% por las condiciones del terreno de trabajo. Incluyen el impacto, abrasividad, compactación, humedad, terreno y aplicación que se encuentre realizando la máquina (Caterpillar, 2007).

El tercer grupo es de las variables parcialmente controlables, incluye sucesos controlables o hábitos del operador de la máquina, como trabajar con la carga siempre en un mismo lado de la máquina.

Es importante saber a profundidad cada uno de estos tres grupos para que no solo se pueda explicar “qué ha sucedido,” sino también “qué se puede esperar que suceda,” especialmente cuando las variables cambian, es esencial el conocimiento de la relación relativa entre estas variables y el desgaste final o la vida útil de los componentes del tren de rodamiento (Caterpillar, 2007).



Figura 4. Tren de rodamiento de tractor D8T CAT

Fuente: Ferreyros (2006). Manual del estudiante - instrucción técnica

a. Variables controlables

Las variables controlables pueden tener un efecto económico importante en la operación de los sistemas de tren de rodamiento, las tres variables controlables más significativas incluyen el tensado de la cadena, el ancho de zapata en la cadena y la alineación. El ancho de la zapata puede causar diversos problemas, incluyendo los de integridad del sello y lubricante de la cadena, agrietamiento del eslabón, pestaña de rodillo y desgaste de buje, el ancho de la zapata es controlable debido a que el usuario decide las zapatas que va a utilizar (Caterpillar, 2007).

Ajuste de la cadena

Una cadena demasiado tensa afecta notablemente la vida útil del buje ya que aumenta el desgaste hasta tres veces y se menciona frecuentemente como la causa o factor acelerador en la sección de problemas estructurales y de desgaste de muchos componentes.

Ancho de la zapata

El ancho de la zapata puede ocasionar varios problemas, incluyendo los de integridad del sello y lubricante de la cadena, agrietamiento del eslabón, desgaste de pestañas en rodillos y desgaste en bujes. El ancho de la zapata es controlable debido a que el usuario decide las zapatas que va a utilizar.



Figura 5. Ancho de zapata en tractores CAT

Fuente: Tecsup (2013). Curso de operación y desgaste del tren de rodamiento

Desgaste del sistema del tren de rodamiento y factores que afectan la vida útil estructural

-Vida útil de la zapata: las zapatas más anchas de lo necesario no mejoran la vida útil. El material de desgaste adicional que proporcionan las garras más anchas ofrece poca vida útil adicional. La variable que más afecta la vida útil de las zapatas es el patinaje.

-Vida útil estructural de la zapata: la fuerza de flexión sobre las zapatas se incrementa proporcionalmente con su anchura. El agrietamiento, la flexión y la pérdida de tornillería incrementa cuando la zapata es más ancha. Siempre hay que seleccionar la zapata más estrecha posible que proporcione tracción y flotación adecuadas sin excesivo patinaje de la cadena (Caterpillar, 2007).

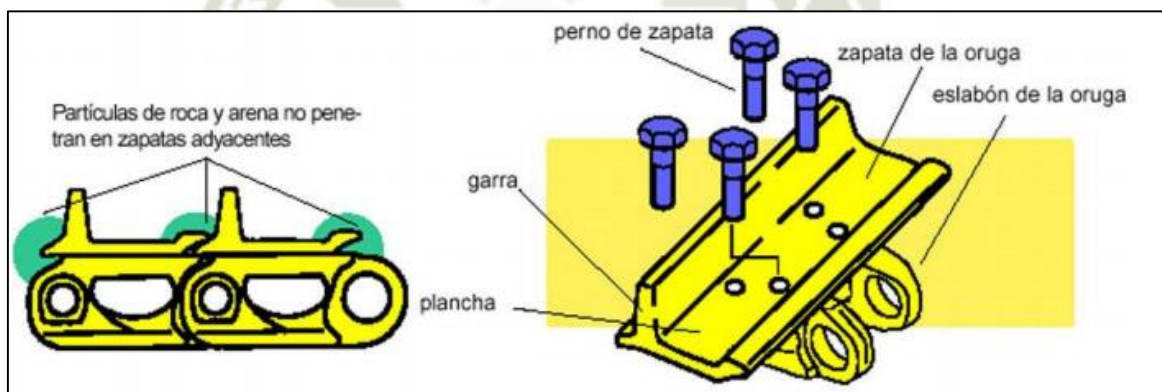


Figura 7. Zapatas en cadenas de tractor D8T CAT

Fuente: García Chacón, R. (2015). Tren de rodamiento en Bulldozer

-Vida útil de los eslabones, rodillos y ruedas guía: El porcentaje de desgaste de los lados del riel del eslabón, las pestañas de rodillo y las pestañas de rueda guía, aumentan con el incremento del ancho de la zapata ya que aumenta la interferencia.

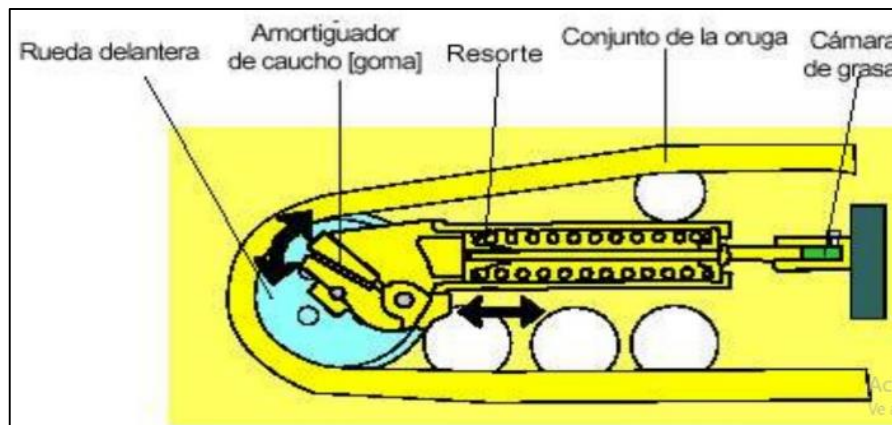


Figura 8. Rueda delantera y rodillos inferiores D8T CAT

Fuente: García Chacón, R. (2015). Tren de rodamiento en Bulldozer

-Vida útil de pasadores y bujes: cuna zapata ancha aumenta la velocidad de desgaste del buje externo de la cadena sellada y de la cadena sellada y lubricada, y la velocidad de desgaste interna de la cadena sellada. Esto se debe al aumento de la carga, el peso y la torsión.

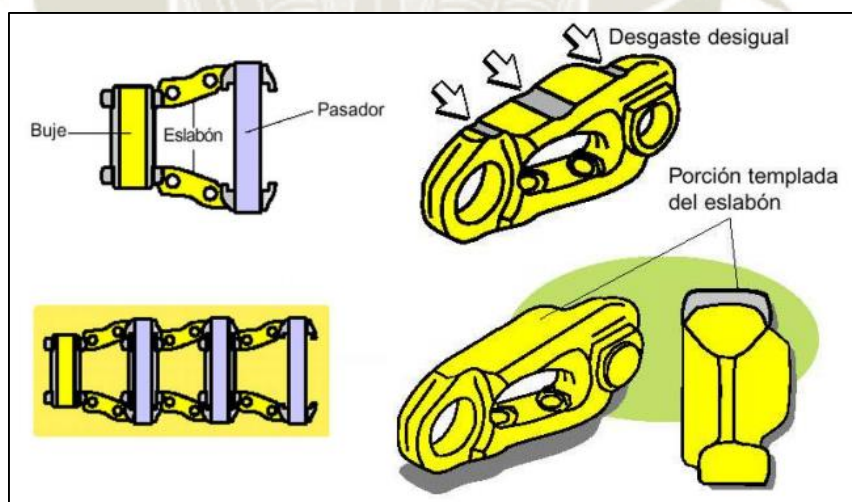


Figura 9. Eslabones, pasadores y bujes de cadena en tractor D8T CAT

Fuente: García Chacón, R. (2015). Tren de rodamiento en Bulldozer



Figura 10. Rueda dentada en tractor D8T CAT

Fuente: García Chacón, R. (2015). Tren de rodamiento en Bulldozer

-Vida útil estructural de los pasadores y de los bujes: con zapatas demasiado anchas en terrenos de pendientes pronunciadas o alto impacto pueden ocasionar que los pasadores y los bujes se lleguen a soltar en los orificios del eslabón, generando articulaciones secas. La pérdida de la capacidad de retención del pasador y el buje no permite el giro satisfactorio del pasador y el buje.

Vida útil de la articulación de la cadena sellada y lubricada

El más costoso efecto de las zapatas demasiado anchas es la pérdida de lubricante y de vida útil del sello como resultado de la falta de lubricación prematura de la articulación. Cuanto más ancha sea la zapata, además de provocar un mayor impacto, mayor es el riesgo de que las articulaciones “se abran”, provocando pérdida de lubricante. La pérdida de lubricante ocurre cuando los bujes se deslizan hacia adelante y hacia atrás a lo largo del pasador. El espacio libre entre los eslabones creado por esta “apertura” se llama juego axial. El juego de extremo sólo se puede eliminar ajustando los componentes cuando se realiza trabajo con la prensa de cadena. Para una vida útil máxima del lubricante y del sello, la máquina debe estar equipada con las zapatas adecuadas y que proporcionen buena flotación (Caterpillar, 2007).

Alineación

Una alineación apropiada del bastidor de rodillos, la rueda guía y la rueda motriz es muy importante para evitar un desgaste acelerado y desequilibrado de los componentes móviles del tren de rodamiento (banda de rodadura y pestañas, rieles de eslabón y laterales de rieles, y laterales de rueda motriz).

Como regla general, cualquier diferencia en el desgaste entre izquierda o derecha, interior o exterior, y delantero o trasero, puede deberse a la mala alineación de una o más piezas del bastidor de rodillos, ruedas guía o ruedas motrices. Tenemos a continuación los tipos más comunes de problemas de alineación (Caterpillar, 2007).

Bastidor de rodillos

Convergencia y/o divergencia: visto desde la parte superior el equipo, el bastidor de rodillos no está paralelo con la línea central del tractor.

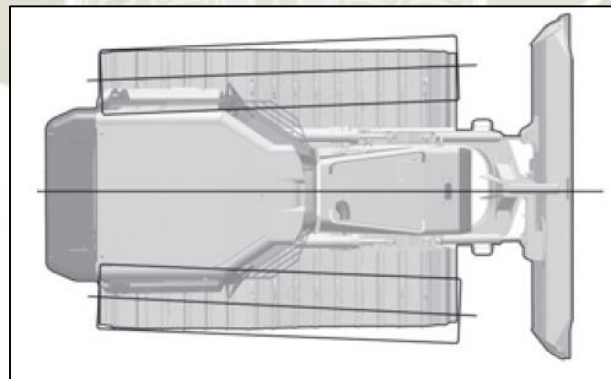


Figura 11. Convergencia/divergencia en bastidor

Fuente: Caterpillar (2007). Manual del servicio especial de cadenas

Inclinación: visto desde la parte delantera o trasera el equipo, el bastidor de rodillos está inclinado hacia el tractor o hacia afuera.

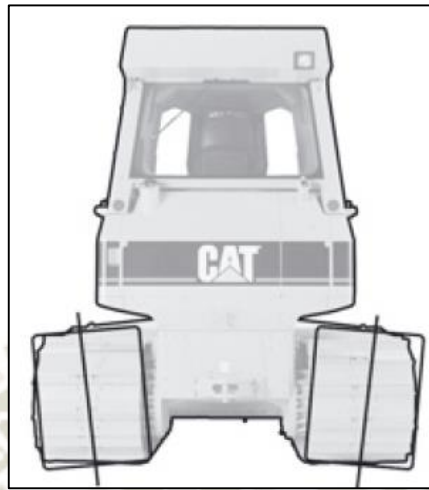


Figura 12. Inclinación de bastidor

Fuente: Caterpillar (2007). Manual del servicio especial de cadenas

Arco: Parecido al efecto de convergencia y divergencia, pero el bastidor de rodillos está doblado y combado hacia afuera o hacia adentro con relación al tractor.

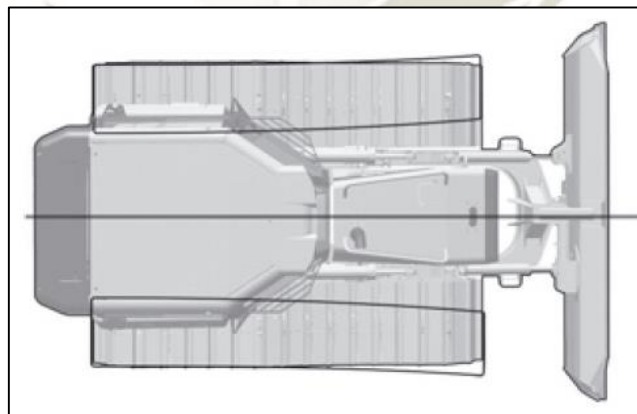


Figura 13. Arco en bastidor

Fuente: Caterpillar (2007). Manual del servicio especial de cadenas

Torsión: Visto de frente el equipo, el bastidor de rodillos se ve torcido y con el extremo delantero inclinado hacia afuera.

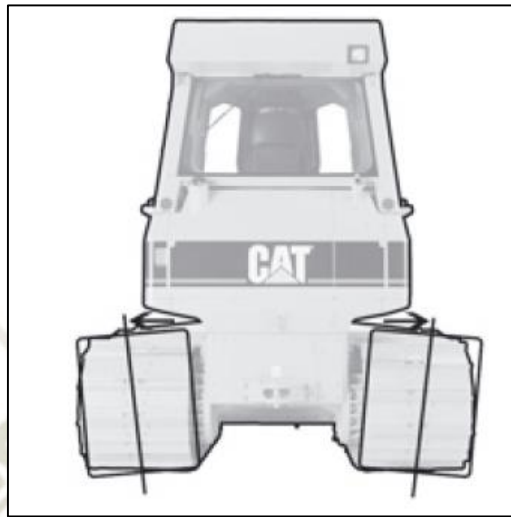


Figura 14. Torsión en bastidores

Fuente: Caterpillar (2007). Manual del servicio especial de cadenas

Montaje de la rueda guía

Convergencia o divergencia: Visto desde la parte superior el equipo, la rueda guía no está paralela con la línea central del bastidor de rodillos.

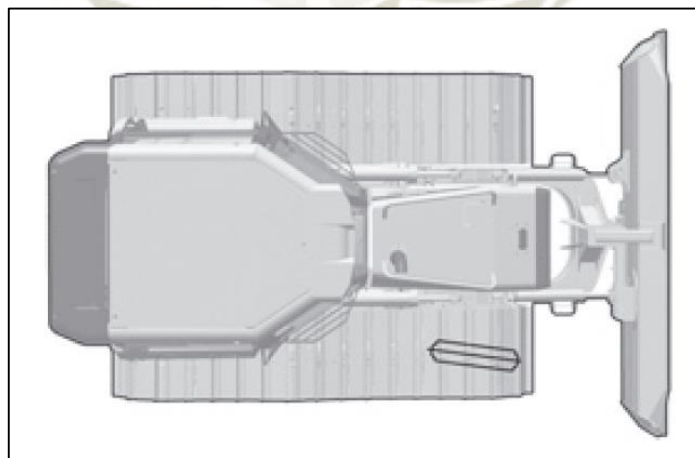


Figura 15. Convergencia/divergencia en rueda guía

Fuente: Caterpillar (2007). Manual del servicio especial de cadenas

Altura de la rueda guía: la altura de la rueda guía es la distancia que hay entre la superficie de la banda de rodadura inferior de la rueda guía y la superficie de la banda de rodadura inferior del rodillo adyacente a la rueda guía. La rueda guía debe ser siempre superior que el rodillo inferior (Caterpillar, 2007).

Desplazamiento lateral: visto desde arriba, la rueda guía está paralela al tractor, pero movida hacia afuera del tractor y del bastidor.

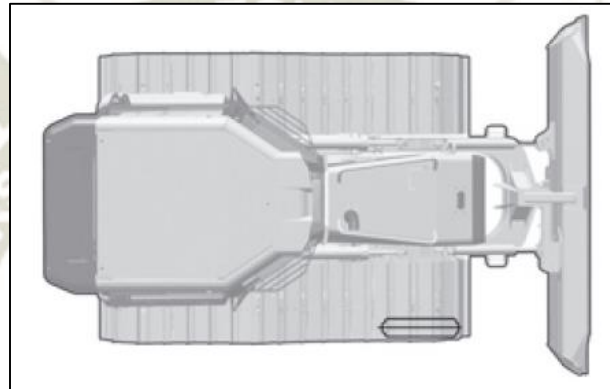


Figura 16. Desplazamiento lateral de rueda guía

Fuente: Caterpillar (2007). Manual del servicio especial de cadenas

Torsión/Inclinación: Visto desde la parte delantera el equipo, la rueda guía se inclina hacia afuera del plano vertical.



Figura 17. Torsión/inclinación de rueda guía

Fuente: Caterpillar (2007). Manual del servicio especial de cadenas

Rueda motriz

Convergencia, divergencia: visto el equipo desde la parte superior, la rueda motriz no está paralela con la línea central del bastidor de rodillos.

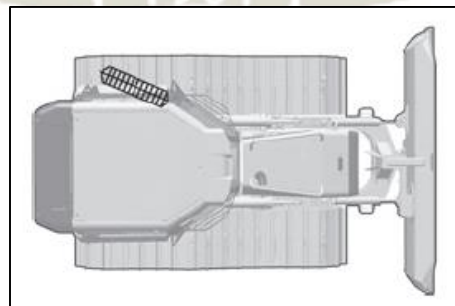


Figura 18. Convergencia/divergencia en rueda motriz

Fuente: Caterpillar (2007). Manual del servicio especial de cadenas

Torsión: Visto desde atrás el equipo, la rueda motriz está reclinada o inclinada hacia adentro o hacia afuera con relación al bastidor de rodillos.

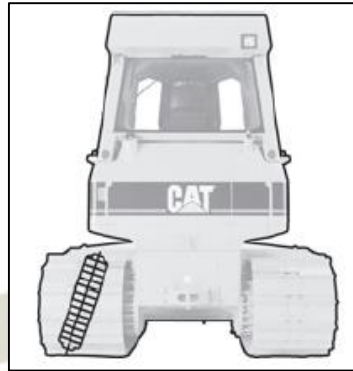


Figura 19. Torsión en rueda motriz

Fuente: Caterpillar (2007). Manual del servicio especial de cadenas

Desplazamiento lateral: Visto desde arriba o desde atrás del equipo, la rueda motriz está paralela, pero movida hacia adentro o hacia afuera con relación al tractor y al bastidor de rodillos.

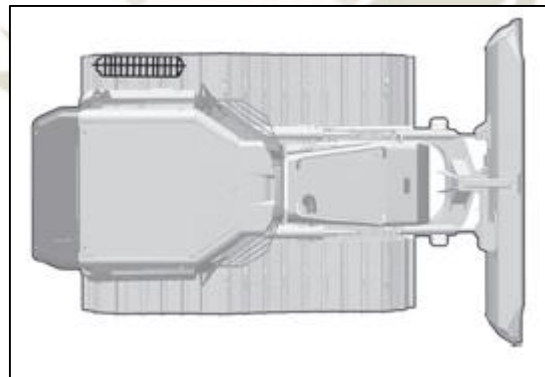


Figura 20. Desplazamiento lateral de rueda motriz

Fuente: Caterpillar (2007). Manual del servicio especial de cadenas

Declaraciones generales sobre problemas de alineación, síntomas, causas, efectos y remedios:

1. Mientras más grande y pesada sea la máquina y más extremo sea el impacto, mayor serán las probabilidades de que haya problemas de alineación.

2. Los problemas de alineación de bastidor, rueda guía y rueda motriz, afectan a todos los eslabones de la misma forma (Caterpillar, 2007).

3. Una mala alineación de bastidor de rodillos, rueda guía y rueda motriz impacta de forma desigual a los rodillos inferiores (rodillos delanteros y traseros, bridas interiores y exteriores, y rodaduras interiores y exteriores).

4. La horizontalidad del bastidor de rodillos no afecta los eslabones, pero si las bandas de rodadura de los rodillos delanteros y/o traseros en comparación con los rodillos centrales.

5. Una cadena sinuosa no provoca tanto daño como una cadena mal alineada.

6. El desgaste del rodillo inferior puede usarse como indicador visual de la alineación del bastidor de rodillos.

7. Algunos problemas de alineación son temporales (causados por las cargas de trabajo). Si ambos lados de la máquina tienen el mismo tipo de patrón de desgaste causado por una mala alineación, la causa puede ser la flexión del bastidor de rodillos debida a las cargas de trabajo.

8. Si identifica que hay una mala de alineación, es importante corregirlo totalmente antes de instalar componentes nuevos de tren de rodamiento.

9. Una cadena muy tensa aumenta el efecto de todos los tipos de problemas relacionados con falta de alineación, debido a que aumenta las cargas en los componentes relacionados (Caterpillar, 2007).

Vibración causada por las cadenas

Las vibraciones causadas por las cadenas es la más común que se produce en las máquinas de cadenas, cuando la máquina está en movimiento, cada eslabón, como parte de un riel sin fin, entra en contacto con dos superficies curvadas, ruedas guía y rodillos de cadena. Este contacto entre las ruedas guía y los eslabones causa un desgaste en el centro del eslabón. El contacto entre los rodillos inferiores y los eslabones causa desgaste en los extremos de los eslabones donde se superponen con el eslabón adyacente, y como resultado de este desgaste, se forma un patrón de corte en la superficie de cada eslabón. Este tipo de desgaste del eslabón puede acelerarse por la abrasividad y el contenido de humedad del suelo, el peso de la máquina, la velocidad de movimiento y las condiciones del terreno. A veces es posible que la vibración causada por la cadena no se note en terrenos difíciles, si bien puede resultar aparente en superficies más uniformes (Caterpillar, 2007).

b. Variables no controlables

Hay variables no controlables que afectan la velocidad de desgaste. Las variables no controlables incluyen las condiciones del suelo y subsuelo (abrasión, impacto, humedad, compactación, corrosión, etc.), las condiciones del terreno y las de la aplicación que hace la máquina (Caterpillar, 2007).

Condiciones del suelo y terreno

Abrasión

La condición abrasiva del terreno es la más difícil de medir con exactitud, excepto por sus efectos. La abrasividad se puede clasificar en:

-Alta: Suelos húmedos saturados que mayormente contienen partículas de arena duras, anguladas o afiladas.

-Moderada: Suelos ligeramente húmedos con una baja proporción de partículas duras, anguladas o afiladas.

-Baja: Suelos secos o rocas, que contienen una porción pequeña de partículas duras, anguladas o afiladas, o de fragmentos de rocas.

La cantidad de humedad es un factor muy importante para definir la abrasividad, esto se debe a que la humedad afecta la velocidad con la que las partículas son transportadas y se adhieren a la superficie del metal y lo desgastan. Algunas combinaciones abrasivas tienden a atacar los bujes, otras, las garras, los eslabones y los rodillos (Caterpillar, 2007).

Impacto

El impacto del estado del terreno se determina con el peso de la máquina, y la velocidad se define en condiciones de aplicación. Existen las siguientes clasificaciones de impacto:

-Alto: son superficies no penetrables con exposición constante hasta 6 pulgadas “baches” de (15 cm) o más.

-Moderado: son superficies parcialmente penetrables con exposición constante a baches más pequeños de 6 pulgadas.

-Bajo: con superficies completamente penetrables que dan soporte completo de placa de zapata, con exposición baja a baches de cualquier altura.

El efecto más notable del impacto aparece en forma de problemas estructurales como la flexión, agrietamiento, rotura, descascaramiento, astillamiento, rodamiento y falta de retención de la tornillería, pasador y buje. En general, la vida útil de las máquinas grandes se ve menos afectada por las variaciones de impacto que la de las máquinas pequeñas (Caterpillar, 2007).

Empaque

La compactación es cualquier condición del terreno en la cual el material del suelo se adhiere o se compacta entre los componentes del tren de rodamiento y tiene dos efectos principales. El primero puede impedir que las superficies de contacto se acoplen correctamente y esto puede causar interferencias, cargas altas y alta velocidad de desgaste. Ejemplos de este efecto incluyen compactación de dientes y compactación entre la zapata y bujes, haciendo que los dientes se acoplen con los bujes de forma incorrecta (Caterpillar, 2007).

El segundo efecto más importante de la compactación es el incremento del desgaste debido a que el material abrasivo se adhiere a las superficies de desgaste en el tren de rodamiento. El mejor ejemplo es la mezcla de arena y arcilla compactada alrededor de las ruedas guías, rodillos superiores e inferiores, constante abrasión cuando estos componentes entran en contacto con los eslabones de la cadena en la operación. El resultado es similar al de una rueda de moler o pulir, las piezas que sufren este efecto generalmente terminan pulidas y lisas (Caterpillar, 2007).

Los casos extremos de compactación de material impiden el giro de los rodillos, particularmente de los superiores, Después, los eslabones deben deslizarse a través de las bandas de rodadura de rodillo dando como resultado zonas planas. Hay una amplia variedad de materiales de compactación que van más allá de la arcilla y el barro, que son los que normalmente se asocian a la compactación. Obviamente, el contenido de humedad en estos materiales ayuda a obtener sus características de adherencia y su capacidad de compactación, varios terrenos se componen de diferentes combinaciones de estos materiales, y el efecto puede ser acumulativo. Los materiales de compactación se dividen en dos categorías; los que normalmente se puede extruir o forzar su salida entre las piezas cuando están lubricados y los que no se pueden extruir con las presiones y tamaños de abertura que normalmente presentan las máquinas de cadenas (Caterpillar, 2007).

Materiales compactados

Extruibles (cuando están lubricados)

- Relleno sanitario (basuras)
- Suelos de aluvión
- Suelos arcillosos
- Suelos arenosos
- Hielo y nieve
- Menas metálicas (taconita)
- Menas no metálicas (yesos)

No extruibles

- Relleno sanitario (basuras)
- Ramas, leña y arbustos
- Piedras, rocas y grava
- Escombros de demolición
- Residuos de césped
- Generalmente, el efecto de la compactación no se puede controlar.

Otras variables ambientales

Hay otras variables que pueden relacionarse o no con las condiciones del suelo y del terreno.

Humedad

Los efectos de la humedad que influyen en las condiciones abrasivas y de compactación de material. La humedad y el agua pueden corroer el acero, lo cual puede ocasionar una pérdida de material de desgaste. Cantidades moderadas de humedad aumentan el efecto corrosivo de muchos componentes y compuestos químicos, ambos se encuentran en estado natural y fabricados por el hombre, como el azufre, la sal y los fertilizantes (Caterpillar, 2007).

Productos químicos

Los componentes químicos corrosivos tanto en estado natural, como los fabricados por el hombre, pueden destruir el material de desgaste de las piezas o propiciar el desarrollo de ciertos tipos de fisuras. Curiosamente, la mayoría de los aceros templados son más susceptibles a las grietas causadas por la corrosión que los aceros no templados más blandos. Los suelos muy ácidos y salinos pueden contribuir a estos efectos, elementos químicos orgánicos como los productos a partir del petróleo, pueden atacar a los anillos de carga de caucho y a los anillos de los rodillos y de las ruedas guía, haciendo que se averíen (Caterpillar, 2007).

Temperatura

Las altas temperaturas aceleran la acción química. Temperaturas extremadamente altas, pueden dañar los sellos y también reblandecer el acero templado de las piezas del tren de rodamiento.

Temperaturas muy bajas de unos -40°F (-40°C), pueden producir fragilidad en el acero, pérdida de elasticidad del sello de caucho y la reducción del flujo del lubricante necesario en la cadena sellada y lubricada, en los rodillos y en las ruedas guía del tren de rodamiento (Caterpillar, 2007).

Condiciones del terreno

Trabajo en pendientes laterales

Este terreno desplaza el equilibrio del peso al lado cuesta abajo de la máquina. Esto aumenta la velocidad de desgaste de componentes en el lado cuesta abajo de la máquina. También aumenta el desgaste en los laterales del riel, pestañas de rodillos y ruedas guía, extremos de buje y extremos de zapatas del equipo (Caterpillar, 2007).

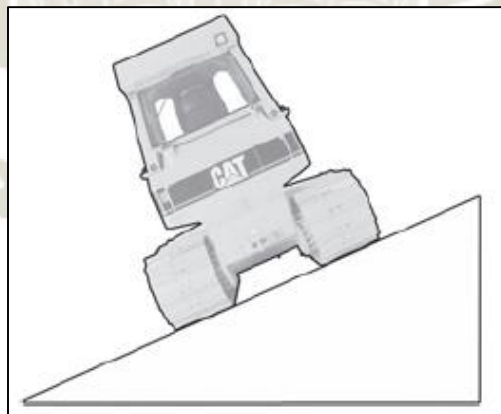


Figura 21. Trabajo del tractor en pendiente lateral

Fuente: Caterpillar (2007). Manual del servicio especial de cadenas

Trabajo cuesta abajo

Desplaza el equilibrio del peso hacia adelante del tractor causando un desgaste relativamente mayor en los rodillos inferiores delanteros, en las ruedas guía y en el lado de mando de retroceso de la rueda motriz y el buje.

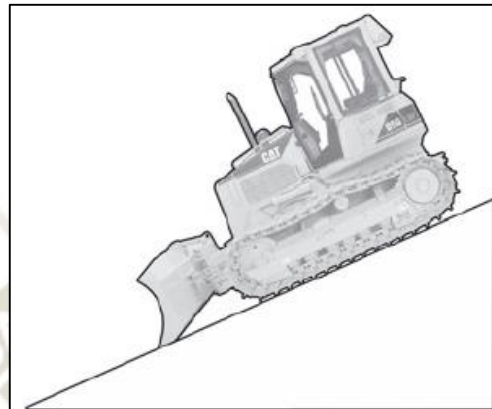


Figura 22. Trabajo del tractor en cuesta abajo

Fuente: Caterpillar (2007). Manual del servicio especial de cadenas

Trabajo cuesta arriba

Desplaza el equilibrio del peso hacia la parte de atrás del equipo causando un desgaste relativamente mayor en los rodillos inferiores traseros, en las ruedas guía y en el lado de mando de avance de la rueda motriz y el buje (Caterpillar, 2007).

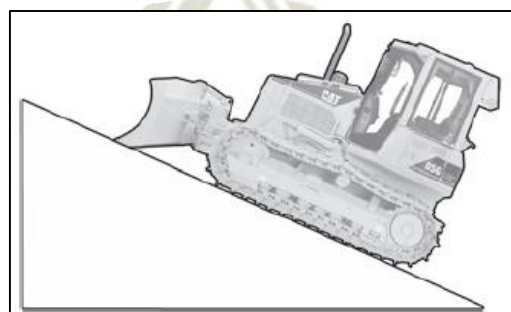


Figura 23. Trabajo del tractor en cuesta arriba

Fuente: Caterpillar (2007). Manual del servicio especial de cadenas

Trabajo en abovedados

El lado de los componentes que está más cerca del centro de la máquina soporta cargas mucho más pesadas. Esto resulta en el aumento del desgaste en la superficie interna de desgaste de los eslabones, rodillos, bandas de rodadura de las ruedas guía y extremos de garras. En casos extremos, el desgaste puede incrementarse en las superficies de contacto entre la rueda motriz y los bujes interiores (Caterpillar, 2007).



Figura 24. Trabajo del tractor en abovedados

Fuente: Caterpillar (2007). Manual del servicio especial de cadenas

Trabajo en depresiones

Estos trabajos hacen que las cargas las soporten los laterales de los componentes situados en el exterior de la máquina. Esto aumenta el desgaste en la superficie de desgaste exterior de los eslabones, rodillos, bandas de rodadura de rueda guía y extremos de la garra. En casos extremos, las superficies de contacto exteriores entre el buje y la rueda motriz pueden sufrir un alto desgaste (Caterpillar, 2007).

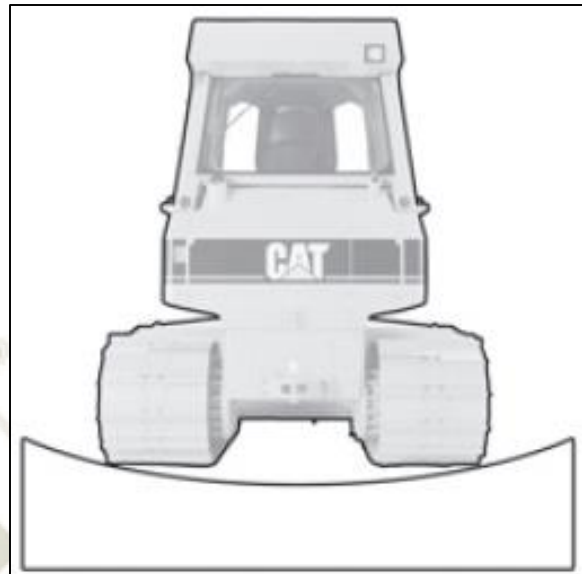


Figura 25. Trabajo del tractor en depresiones

Fuente: Caterpillar (2007). Manual del servicio especial de cadenas

c. Variables controladas parcialmente

-Condiciones de aplicación: la palabra “aplicación” es considerada como lo que la máquina está haciendo.

-Empuje con la hoja y carga por empuje: Desplazamiento del peso de la máquina hacia la parte delantera, provocando un desgaste más acelerado en los rodillos y ruedas guías delanteras.

-Desgarre y barra de tiro: desplaza el equilibrio del peso hacia la parte trasera dl equipo, aumentando el desgaste en los rodillos, ruedas guía y ruedas motrices traseras (Caterpillar, 2007).

Velocidad

La rapidez de desgaste es una función directa de la velocidad, ya que el desgaste es también una función de la distancia recorrida y no sólo del trabajo realizado. Con el aumento de la velocidad, aumenta la rapidez de desgaste de todos los componentes del tren de rodamiento. El efecto de la rapidez de desgaste y el impacto estructural también se incrementa con la velocidad debido al aumento de las cargas de material causadas por la velocidad a la que las piezas hacen contacto entre ellas. El desgaste entre eslabones y rodillos, eslabones y rodillos superiores, y bujes y rueda motriz, incrementa como resultado del mayor impacto que se produce entre estas piezas. La rapidez de desgaste de las zapatas y de las garras aumenta por el mayor impacto que se produce contra el suelo. El retroceso a alta velocidad afecta particularmente la velocidad de desgaste por el contacto entre los bujes y la rueda motriz, debido al diseño de la cadena, evite siempre la velocidad no productiva y evite los cambios de dirección de avance y de retroceso, cuando no son considerablemente productivos (Caterpillar, 2007).

Giro

La tasa de desgaste aumenta con el aumento de los giros. El giro incrementa las cargas de interferencia entre los eslabones y rodillos, y entre los eslabones y las ruedas guía, especialmente en los lados de los rieles y en las pestañas de los rodillos y ruedas guía. El giro en retroceso puede aumentar el desgaste de los bujes y de la rueda motriz, si se compara con el giro en avance. Los efectos del giro siempre en la misma dirección se pueden equilibrar intercambiando las cadenas de un lado a otro de la máquina, en la mitad de su vida útil (Caterpillar, 2007).

Patinaje de las cadenas

El desgaste de todos los componentes se acelera cuando las cadenas patinan. Las garras de las zapatas de cadena se ven particularmente afectadas cuando las cadenas patinan debido al aumento del deslizamiento entre la garra y el terreno. El aumento de carga que produce el patinaje de las cadenas se incrementa cuando el suelo es resistente a la descomposición (Caterpillar, 2007).

Explanación lateral preferida u otros trabajos

El desgaste en el lado de carga de una hoja de empuje aumentará en todos los componentes si sólo se usa un lado de la máquina. La tasa de desgaste aumenta a medida que se aplica mayor fuerza en el lado de carga. Se produce más deslizamiento y compactación en el lado cargado; esto también aumenta el desgaste.

La mayor carga y la compactación de material en un lado del equipo pueden aumentar hasta el doble del desgaste en ese lado. Esta velocidad de desgaste puede equilibrarse intercambiando todos los componentes del tren de rodamiento de un lado al otro. Esto debe hacerse cuando el eslabón y/o los rodillos alcanzan la mitad de su vida útil en el lado más desgastado (Caterpillar, 2007).

2.3 Optimización del Mantenimiento

Las organizaciones requieren de procesos productivos que les permitan maximizar la disponibilidad de sus activos físicos y minimizar los paros imprevistos, de tal forma que puedan obtener adecuados costos de producción, para poder participar en los mercados internacionales, con la mayor productividad, rentabilidad y competitividad. La Optimización del Mantenimiento propone, en función del plan estratégico corporativo, un enfoque para realizar sus funciones en un marco conceptual integral, sistémico, estructurado y global (Oliverio García Palencia, 2012).

La optimización del mantenimiento industrial implica lograr una mayor productividad mediante el incremento en su eficiencia y en su eficacia. Eficiencia hace referencia a la ejecución de acciones con alta calidad en el menor tiempo posible; eficacia a la ejecución de acciones tendientes a obtener excelentes resultados para alcanzar los objetivos propuestos, y óptimo, al logro de resultados al más bajo costo posible. Como consecuencia, día a día se hace más necesario el establecimiento de programas de optimización de mantenimiento que se basen en dar respuesta conveniente a los siguientes interrogantes.

- ¿Qué puede hacerse para lograr que el mantenimiento contribuya a las ganancias de la empresa, mediante el control de sus gastos?

- ¿A qué nivel de mantenimiento se obtiene un beneficio óptimo?
- ¿Cómo puede evaluarse en ese nivel la calidad del mantenimiento?

Por supuesto, hay que dejar sentado que es difícil establecer cuál es el nivel óptimo de mantenimiento porque lo que puede ser conveniente para una empresa, no tiene por qué serlo para otras. El problema radica en identificar el nivel admitido más adecuado de mantenimiento, y luego determinar el nivel de real para mediante su comparación, ir adoptando las medidas correctivas necesarias. Como respuesta a los interrogantes anteriores, muchas compañías han tomado medidas proactivas, como el empleo de prácticas y recursos con sistemas automáticos de órdenes del trabajo, programas preventivos y predictivos, sistemas de información gerencial y aplicación de índices de gestión gerencial (Oliverio García Palencia, 2012).

Todo programa de optimización de mantenimiento debe ser establecido con los siguientes objetivos:

- Optimizar el talento Humano y los recursos físicos disponibles para realizar el mantenimiento en forma efectiva.
- Determinar los niveles óptimos de existencia de repuestos.
- Justificar con base a costos reales de mantenimiento, el reemplazo y la inversión en nuevos equipos.
- Formular políticas administrativas para fijar y controlar la eficiencia del mantenimiento.

Para lograr los objetivos planteados y vigilar el desarrollo del programa de optimización, el área de mantenimiento debe valerse de indicadores de gestión, mediante el estudio y análisis de los reportes que produce el sistema de información, sobre parámetros tales como la confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad y efectividad de los equipos y sistemas (Oliverio García Palencia, 2012).

Para el proceso de optimización, el primer paso en el desarrollo del programa de optimización, consiste en el establecimiento de metas parciales concretas, o de estándares, con fines de comparación futura. Una vez que se completa el análisis de las actividades, se debe

iniciar el trabajo de revisión y comparación de los costos de mantenimiento, esta es la parte fundamental del análisis y su resultado es la base del programa de optimización. Durante la revisión general del departamento, se deben analizar las categorías básicas que integran la función del mantenimiento las cuales son las siguientes:

- La organización
- La mano de obra
- La disponibilidad de los equipos
- El control de los materiales
- El control de los costos
- El medio circundante

La gestión óptima del mantenimiento parte de la estructura orgánica de la compañía, y se consigue al establecer el equilibrio adecuado entre las funciones de ejecución y de dirección de la mano de obra, con el fin de lograr un control efectivo de las actividades (Oliverio García Palencia, 2012).

En el desempeño de la mano de obra se debe considerar, el número de trabajadores, los niveles de capacitación técnica y experiencia personal, la disponibilidad de equipos y herramientas adecuadas, la descripción de las funciones laborales y los sistemas de programación de personas. Con base en los recursos disponibles, las prioridades y limitaciones, la planeación se hace mediante un programa sistematizado, para facilitar el análisis y determinar las actividades específicas con el talento humano más conveniente. A continuación, se pasa a identificar la seguridad funcional mecánica y la disponibilidad de los equipos, junto con las dificultades de los procesos, para poder recomendar los cambios, o las actividades importantes para aumentar sus índices de confiabilidad. En la siguiente etapa de revisión, hay que cerciorarse que el control de materiales se hace de modo que se optimiza el capital de explotación, se minimiza las paradas de los equipos y se maximiza el rendimiento de la mano de obra. Esto mediante el adecuado aprovisionamiento económico de repuestos, que asegure la disponibilidad de los materiales y equipos requeridos, y permita un sistema simple, pero eficaz, para la renovación de órdenes y pedidos. En la última etapa, el control de costos, se realiza el análisis

económico de cada uno de los parámetros revisados y se determina el nivel óptimo de mantenimiento conveniente de la compañía (Oliverio García Palencia, 2012).

Ahora bien, el nivel óptimo es el punto en el cual los costos totales, que combinan los costos directos, con el tiempo perdido, deterioro excesivo y demás desperdicios, son mínimos, y están determinados por el punto más bajo en la curva de costos. Si los costos combinados se encuentran a la izquierda del punto mínimo, esto quiere decir que la inversión en mantenimiento es insuficiente. Por el contrario, si dichos costos se hallan a la derecha del punto mínimo, es porque la cantidad de mantenimiento es exagerada. Con base en el análisis previo debe crearse un sistema eficiente y eficaz de objetivos de costos y de información. El sistema además debe servir para identificar los costos por áreas, por equipos y por programas, y es de primordial importancia para ello, la información verídica y oportuna de los centros de costos (Oliverio García Palencia, 2012).

Una vez determinado el nivel óptimo del mantenimiento es obligatorio solucionar el problema relacionado con la evaluación del nivel real del mantenimiento; es decir, antes de poder mejorar la eficiencia del área de mantenimiento es necesario saberla evaluar. Una correcta evaluación es la medida fundamental para convertir al mantenimiento en un centro generador de utilidades industriales, por lo tanto, se requiere inicialmente poder agrupar la información suficiente y oportuna sobre los siguientes aspectos:

- La proporción de tiempo perdido, o de la inactividad de los equipos por fallas imprevistas, en comparación con otras compañías.

- La efectividad del trabajo de mantenimiento con base en las normas preestablecidas.

- El porcentaje de Mantenimiento Correctivo, trabajos de emergencia, u otros índices de control.

- El porcentaje de salidas de existencias, de equipos y materiales para mantenimiento (Oliverio García Palencia, 2012).

Con la información procesada se puntualiza la planeación de actividades y la toma de decisiones, y esto, se ha demostrado en la práctica, permite ahorrar hasta el 20% de los costos totales. Los líderes de mantenimiento necesitan establecer normas de ejecución, un sistema formal de órdenes de trabajo y asignación de personal, para lograr la mejor utilización del tiempo y los recursos disponibles; y un adecuado historial de operación y mantenimiento para prever acertadamente las necesidades futuras. Para poder determinar las reducciones de costos que se logran con una buena planificación, se requiere conocer:

- El costo de materiales, el valor de conservación y el costo anual del movimiento de existencias.
- El costo de mano de obra especializada, respecto a oficios, procesos, áreas de desempeño, o tipos previstos de servicio.
- El costo del tiempo perdido por interrupciones del trabajo.
- Los costos directos del área, incluyendo los gastos administrativos.

El análisis comparativo de los costos anteriores mide la tendencia global de los gastos de mantenimiento con respecto al tiempo, y a su evolución referente al nivel óptimo económico determinado previamente. Poseer buena información respecto a los trabajos del departamento, permite la planeación correcta, de mano de obra, tiempos, materiales y requisitos financieros; que es la contribución substancial para el mejoramiento de la productividad (Oliverio García Palencia, 2012).

Finalmente, como complemento a lo expuesto anteriormente, existe un buen número de metodologías y enfoques administrativos que han sido creados con el propósito de obtener un elevado nivel de productividad, calidad y eficiencia, aplicables también al mantenimiento, para mejorar el rendimiento de sus procesos. Entre ellos vale la pena destacar el Kaizen, las Cinco Eses, el Coaching, el Workflow, la Reingeniería, el Groupware, el Justo a Tiempo, el Benchmarking, el Balanced Scorecard, el Análisis de Pareto, el Empowerment, el Trabajo Colaborativo, la Gestión de Activos, la Planeación Estratégica, la Gestión por Procesos, la Gerencia Participativa, el análisis de resultados, la Confiabilidad Operacional, la Gestión Total de Calidad, las técnicas estadísticas, la Excelencia Operacional, los Círculos de Participación,

el Total Performance Scorecard, los Sistemas Integrales de Gestión y los Sistemas de Información Gerencial. Todas las anteriores metodologías, técnicas, estrategias o herramientas de soporte a la productividad industrial, han tenido un desarrollo muy importante en las últimas décadas y la mayoría permanecen vigentes todavía, lo cual no significa que se deben aplicar todas para alcanzar la competitividad, sino que se debe usar la mejor en cada caso particular (Oliverio García Palencia, 2012).

2.4 El Mantenimiento Excelente

La excelencia de los procesos se caracteriza por el alto nivel de calidad y efectividad de los trabajos realizados, con un servicio sobresaliente. La Excelencia está garantizada por la cantidad de acciones correctas que se realizan cotidianamente, por los miembros de la empresa para sostener el desempeño dentro de un rumbo previsto. El Mantenimiento Excelente es reconocido por los siguientes aspectos básicos:

-Máxima calidad de los trabajos, trato especial a los clientes, innovación continua de los procesos, productos y servicios, y lograr el compromiso, creatividad y energía de los colaboradores. El mantenimiento excelente es fanático de la calidad, pues se esfuerza por producir valiosos logros técnicos, bajos costos, calidad óptima, atención y disposición adecuada del personal, control riguroso de la seguridad y el respeto al ambiente, y sistemas sencillos y eficaces de comunicación (Oliverio García Palencia, 2012).

-Las organizaciones que buscan obtener un incremento de los resultados positivos, se han propuesto contar con estrategias, políticas y prácticas, que conduzcan a todas las personas a participar en técnicas de trabajo en equipo; ya que los empleados obtienen mejores resultados en labores de mantenimiento de equipos y herramientas, trabajando en armonía y de manera coordinada, que haciéndolo en forma independiente. Dicho mantenimiento se mejora considerablemente en calidad, debido a que la interacción otorga una serie de elementos, como ideas, comprensión y soluciones, que resultan de la participación activa de los miembros del grupo. En las organizaciones en busca de la excelencia, la calidad es una de las metas, es una actividad muy difundida dentro de la empresa, para hacer todo bien, eficiente y eficazmente, y lograr la optimización global de la gestión. Los alcances del mantenimiento en cuanto a

continuidad en la producción, reducción de paradas imprevistas y disminución de costos, le ayudan a la compañía a lograr más pronto la calidad total. Esencialmente el mantenimiento aporta varios elementos especiales a un ambiente de calidad total. Estos elementos reducen los defectos y el costo de la calidad, y generan un ambiente más propicio para la solución permanente de problemas. El costo mínimo de los recursos necesarios para realizar las actividades de mantenimiento, depende del control de la calidad que debe existir en dichos recursos, antes de ser entregados al departamento de mantenimiento (Oliverio García Palencia, 2012).

-Otro aspecto a examinar en la planeación del trabajo de mantenimiento, es que todas las máquinas y sistemas de producción no son iguales, por lo cual un adecuado sistema de gestión del mantenimiento ocasiona un incremento significativo para mejorar su calidad y su efectividad. Por lo tanto, lograr un buen desempeño del mantenimiento no es un fenómeno esporádico, sino por el contrario, es fruto de un esfuerzo organizacional, sostenido por la función primaria del mantenimiento, con la orientación de la Gestión Total de Calidad. El TPM y la Calidad Total buscan el mejoramiento global de la compañía, la satisfacción del consumidor, e involucran a todas las personas dentro y fuera de la organización. Sin embargo, para lograr esta meta se debe estudiar un modelo de calidad y de control, que permita a la dirección de la empresa pasar de las palabras a los hechos, utilizando para ello los principios de la mejora continua japonesa y buscando el compromiso de todos (Oliverio García Palencia, 2012).

La Optimización Integral del Mantenimiento es la estrategia que permite disminuir los costos de mantenimiento a lo largo del ciclo de vida de los activos; usando el talento idóneo para realizar las funciones, mediante la ejecución de programas de capacitación y formación por competencias, gerencia del desempeño, mejoramiento continuo, creación de equipos naturales de trabajo y Gestión del Conocimiento, que son las estrategias fundamentales de la Confiabilidad Humana. Implementar programas de Confiabilidad Operacional, o Humana, en las organizaciones involucra grandes desafíos, exige una cultura del cambio, para poder controvertir muchos procesos de planeación y de gestión, y lograr una conducción efectiva de los canales de comunicación, para el registro sistemático, en tiempo real, de la información. Las

acciones de mejoramiento de la Confiabilidad Humana buscan recuperar el valor del talento humano, desarrollar su experiencia y sus capacidades físicas y fisiológicas, mejorar sus relaciones interpersonales, y guiar su conducta, principios y valores, hacia la cultura corporativa; para comprometer su capacidad total de gestión en beneficio del colectivo social (Oliverio García Palencia, 2012).

La Confiabilidad Operacional como herramienta principal de la Gestión de Activos se asienta sobre una aproximación de sentido común, hacia la Excelencia Industrial. Si diariamente se tiene claro lo que hay que hacer para garantizar la confiabilidad del sistema productivo y esto se realiza oportunamente, usando los medios correctos y la manera correcta, se logra la excelencia de las actividades de mantenimiento. Pocas compañías tienen la experiencia para proveer el enfoque holístico del mantenimiento, el cual se logra cuando hay pasión por la gestión y un justo balance entre la academia y la práctica profesional, que permite alcanzar los beneficios del desarrollo tecnológico sobre Disponibilidad, Confiabilidad y Competitividad de los activos. La auténtica fuente de la competitividad industrial es el Talento Humano empoderado y comprometido con su organización, que emplea la mayor parte de su tiempo en atender las necesidades colectivas, para alcanzar los objetivos estratégicos corporativos, en favor de los empleados y la sociedad. Para ello se requiere que el ingeniero de mantenimiento sea un profesional idóneo, que además de poseer un alto nivel competitivo, tenga también una formación en principios y valores cívicos, morales y éticos, acordes con las exigencias de la actual Sociedad del Conocimiento (Oliverio García Palencia, 2012).

La aspiración natural de alcanzar la excelencia en el mantenimiento de la empresa, lleva a la idea de alcanzar lo que se ha llamado Mantenimiento de Clase Mundial (WCM); el cual se puede entender como la gestión del mantenimiento que satisface los requerimientos y expectativas relativas a cada momento del desarrollo industrial de la humanidad y del entorno social y de mercados, relacionados con la seguridad, el medio ambiente, la calidad, la productividad y la economía (Oliverio García Palencia, 2012).

CAPITULO III

3. PROCESO DE OPTIMIZACIÓN INTEGRAL DEL MANTENIMIENTO

3.1. Diagnóstico de la situación inicial de trabajo

Se comienza a revisar los datos relativos al problema y conocer el estado actual para tener una idea clara de las desviaciones que ocurren al momento de realizar las actividades de mantenimiento, necesitamos saber de qué activos físicos se va a tratar y decidir cuáles de ellos vamos a someter al proceso de revisión.

Tabla 2. Equipos de la flota pesada

Equipo	Cantidad	Modelo	Marca	Porcentaje
Tractor Topador	12	D8T	CAT	40%
Excavadora Hidráulica	5	326D2L	CAT	17%
Rodillo Compactador	5	CS74B	CAT	17%
Camión Minero	4	830E	Komatsu	13%
Cargador Frontal	1	L1800	Letourneau	3%
Cargador Frontal	1	988F	CAT	3%
Retroexcavadora	1	450	CAT	3%
Motoniveladora	1	16H	CAT	3%

Fuente: elaboración propia

Tabla 3. Otros equipos de la flota

Equipo	Cantidad	Marca	
Equipo Mediano	Camión lubricador	1	Ford
	Camión cisterna	1	Kenworth
	Camabaja	1	Kenworth
	Camión plataforma	1	Volvo
	Camión grúa	2	Kenworth
	Camión volquete	3	Volvo
	Montacargas	1	Hyster
Equipo Auxiliar	Motobombas	5	Hidrostral
	Compresores	3	CompAir
	Luminarias	7	Terex
	Máquinas de soldar	3	Lincoln
	Generadores	5	CAT
Equipo Liviano	Camionetas	23	Toyota
	Ambulancia	1	Renault
	Ómnibus	2	Mercedes Benz

Fuente: elaboración propia

Para poder llevar a cabo el proceso de optimización nos vamos a apoyar de la estrategia de mantenimiento RCM con el fin de poder determinar que se debe hacer para asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que los usuarios necesitan que haga dentro de su contexto operacional, para lo cual establecemos un equipo multidisciplinario para continuar con el proceso.

Tabla 4. Equipo de trabajo RCM

Cargo	Área	Origen	Cargo en el grupo
Jefe de mantenimiento	Mantenimiento	Propio de la unidad minera	Participante
Supervisor de mantenimiento	Mantenimiento	Propio de la unidad minera	Participante
Planificador de mantenimiento	Mantenimiento	Propio de la unidad minera	Participante
Mecánico de mantenimiento 01	Mantenimiento	Propio de la unidad minera	Participante
Mecánico de mantenimiento 02	Mantenimiento	Propio de la unidad minera	Participante
Operador de maquinaria pesada 01	Operaciones	Propio de la unidad minera	Participante
Operador de maquinaria pesada 02	Operaciones	Propio de la unidad minera	Participante
Supervisor de campo	Mantenimiento	Contratista	Facilitador
Planificador de mantenimiento	Mantenimiento	Contratista	Facilitador
Jefe de servicios	Mantenimiento	Contratista	Facilitador

Fuente: elaboración propia

3.1.1 Análisis de criticidad

Los dueños o usuarios deben fijar conscientemente prioridades entre los activos, usando los criterios más apropiados para sus organizaciones tomando en cuenta su impacto global, con el objetivo de facilitar la toma de decisiones en la gestión. El análisis de criticidad permite identificar las zonas en las cuales se tendrá una mayor atención del mantenimiento teniendo en cuenta el proceso que se realiza.

Tabla 5. Criterios para análisis de criticidad

Criterios	Peso
FRECUENCIA DE FALLA "A"	
Ocurre más de 7 fallas / mes	4
Ocurre más de 5-7 fallas / mes	3
Ocurre más de 3-5 fallas / mes	2
Ocurre menos de 3 falla / mes	1
NIVEL DE PRODUCCIÓN "B"	
Realiza una carga de trabajo alta en la construcción de los Tranques	4
Realiza una carga de trabajo media en la construcción de los Tranques	3
Realiza una carga de trabajo baja en la construcción de los Tranques	2
TIEMPO MEDIO DE RESTAURACIÓN "C"	
Requiere entre 30 y 45 minutos para su reparación en fallas habituales	3
Requiere entre 20 y 30 minutos para su reparación en fallas habituales	2
Requiere menos de 20 minutos para su reparación en fallas habituales	1
IMPACTO EN PRODUCCION "D"	
Parada inmediata de trabajos en construcción de un sector del tranque	8
Reduce trabajos en construcción de un sector del tranque	6
Impacta en niveles de producción y calidad	4
Repercute en costos de operaciones	2
No genera impactos significativos	0
COSTOS EN MANTENIMIENTO "E"	
Representan un impacto alto en los costos de mantenimiento anual	6
Representan un impacto medio en los costos de mantenimiento anual	4
Representan un impacto bajo en los costos de mantenimiento anual	2
IMPACTO EN SEGURIDAD "F"	
Atenta contra la vida o riesgo de muerte	6
Provoca lesiones incapacitantes permanentes	5
Provoca lesiones incapacitantes temporales	4
Provoca lesiones menores o daños materiales	2
No provoca ningún tipo de daños	0
IMPACTO EN MEDIO AMBIENTE "G"	
Afecta al Medio Ambiente causando daño irreversibles	8
Afecta al Medio Ambiente causando daño reversibles	6
Provoca daños menores	4
Provoca impactos en el ambiente sin violar normas ambientales	2
No provoca ningún tipo de daños	0
SATISFACCIÓN AL CLIENTE "H"	
Se presentan más de 4 paradas imprevistas por semana	4
Se presentan entre 2-4 paradas imprevistas por semana	3
Se presentan menos de 2 paradas imprevistas por semana	2

Fuente: elaboración propia

Modelo de criticidad de factores ponderados basado en la teoría de riesgo-cualitativo:

-Riesgo = Frecuencia de fallas x Consecuencia

-Frecuencia = Número de fallas en un tiempo determinado

-Consecuencia= [Nivel de producción x Tiempo medio de restauración x Impacto en la producción] + Costos de reparación + Impacto en seguridad + Impacto en el Medio Ambiente + Satisfacción al cliente

-Valor máximo de Riesgo = (Consecuencia Máxima) x (Frecuencia Máxima)
= 120 x 4 = 480

Tabla 6. Rangos para matriz de criticidad

Criticidad	Código	Rango
Alta (crítico)	C	320-480
Media (semi-crítico)	SC	160-320
Baja (no crítico)	NC	0-160

Fuente: elaboración propia

Tabla 7. Matriz de criticidad

		Matriz de criticidad				
Frecuencia	4	NC	SC	SC	C	C
	3	NC	NC	SC	SC	C
	2	NC	NC	NC	SC	SC
	1	NC	NC	NC	NC	NC
		24	48	72	96	120
		Consecuencia				

NC (No crítico), SC (Semi-crítico) y C (Crítico)

Fuente: elaboración propia

Tabla 8. Ponderación de criterios de criticidad

Equipos	A	B	C	D	E	F	G	H	Total	Criticidad
Tractor Topador	4	4	3	8	6	2	2	4	440	C
Excavadora Hidráulica	4	3	3	6	2	2	2	4	240	SC
Rodillo Compactador	1	3	2	6	2	2	2	2	40	NC
Cargador Frontal	2	2	3	4	2	5	2	3	58	NC
Camión Minero	2	2	3	4	2	5	2	3	58	NC
Motoniveladora	1	2	1	4	2	2	2	2	12	NC
Retroexcavadora	1	2	1	0	2	4	2	2	4	NC

Fuente: elaboración propia

3.1.2 Definición del activo

Para identificar adecuadamente las políticas de manejo de fallas en un sistema o activo físico, hay que definir el sistema o activo. Las funciones, los modos de falla, las consecuencias de falla y las políticas de manejo de fallas que se aplicarán, no solo dependen del activo, sino también del contexto operacional en el cual se desempeña. En consecuencia, se necesitan definir claramente estas condiciones, en este caso describiremos al Tractor D8T CAT en su contexto operacional.

Tabla 9. Descripción del Tractor topador D8T

Tractor topador D8T	
El tractor D8T es un activo crítico en la construcción del tranque de relaves de la unidad minera, se encuentra expuesto al relave y está encargado de mover grandes cantidades de relave grueso para ir construyendo por sectores los tranques, es el único equipo con esas características y no cuenta con equipos en redundancia, motivo por el cual lo hace irremplazable y sumamente necesario	
Características	
Motor	C15 ACERT
Potencia de motor	363 hp
Cilindrada	15,2 L
Peso	39420 Kg
Velocidad	de 3.4 a 10.6 Km/h
Hoja	8SU
Capacidad de hoja	8.6 m ³
Tren de rodamiento	Tren de rodamiento convencional C185 (eslabón 8E-4513 y 14)

Fuente: elaboración propia

Tabla 10. Contexto operacional

Proceso	El equipo trabaja en un proceso fluido, cada tractor trabaja continuamente en un sector perteneciente a la construcción del tranque de relaves
Estándar de calidad	Se espera que el equipo mueva todo el relave grueso (procesado en las plantas de relave) en las canchas de construcción del tranque de relaves y así cumplir las expectativas de trabajo para el área de operaciones
Estándares ambientales	Con los lineamientos de la unidad minera en la norma ISO 14001 y el compromiso con zonas aledañas, el equipo no debe contaminar el suelo con lubricantes, refrigerantes, grasa o combustible. Además se controla la emisión de gases de combustión
Estándares de seguridad	En cumplimiento a la norma ISO 18001 y el control del riesgo, se espera tener cero lesiones en la operación
Lugar de operaciones	El tractor se encuentra en un tranque de relaves mineros perteneciente a una unidad minera al sur del Perú ubicada a 1500 msnm que actualmente se encuentra operando
Intensidad de operaciones	El equipo es requerido 20 horas al día y los 7 días de la semana
Redundancia	No cuenta con una capacidad redundante o en stand-by
Repuestos	Los repuestos críticos en este equipo son los pertenecientes al tren de rodamiento, se debe analizar cuantos y cuales repuestos se debe tener en stock para minimizar el tiempo de adquirirlos (lead time) y evitar la severidad de las consecuencias de fallas
Tiempo de reparación	Para las fallas con más ocurrencia se estima que para realizar un tensado de cadenas es 35 min y un lavado de sistema de refrigeración 45 min, en las cuales se necesita 2 personas

Fuente: elaboración propia

Tabla 11. Funciones del Equipo

Función primaria	
Función	Mover cantidades de relave grueso hasta 8,6 m ³ con una velocidad entre 3.4 a 10.3 km/h
Funciones secundarias	
Integridad ambiental	Cumplir con la normativa sobre emisiones (Tier 4 Final de la EPA de EE. UU.) y evitar la contaminación del suelo con fluidos utilizados en el equipo
Integridad de seguridad y estructural	Presentar todos los implementos de seguridad en la cabina para su operación y seguridad para la facilidad de servicio de mantenimiento. Contar con un resistente bastidor principal que es la estructura que absorbe las altas cargas de impacto y las fuerzas de torsión en el equipo
Control, contención y confort	Permitir el control del equipo a voluntad, como realizar giros, regular la velocidad entre 3,4 a 10,3 km/h, el movimiento de la hoja de empuje y ripper, además dar al operador información en tiempo real de las condiciones del equipo mediante indicadores en la cabina. Contener el relave grueso mientras es empujado con la hoja topadora a plena carga No causar ansiedad, molestia, incomodidad y cumplir con las expectativas ergonómicas durante la operación
Apariencia	Estar pintados de color amarillo con pintura anticorrosiva e identificados con un número en cinta reflectiva cada equipo para aumentar su visibilidad por razones de seguridad, presentar las condiciones para realizar una inspección pre-uso antes de su operación
Dispositivos y sistemas protectores	Presentar dispositivos de protección para detectar y avisar al operario la aparición de una falla o condiciones de funcionamiento anormales
Economía/eficiencia	El aspecto más importante es mantener el tren de rodamiento dentro de sus parámetros adecuados de trabajo y controlar su desgaste que es aproximadamente de un 4.6% cada 140 h de operación, ya que se desea cambiar los componentes de desgaste del tren de rodamiento en mínimo 3000 h de trabajo. El costo de reparación del tren de rodamiento es el 50% del costo de reparación anual del equipo El equipo debe presentar el sistema de refrigeración libre de suciedad o acumulaciones de materiales que impidan un eficiente intercambio de calor.

Fuente: elaboración propia

3.1.3 Perdida de disponibilidad inherente

Revisamos el historial de fallas y actividades relacionadas a tensado y lavado que están afectando a la disponibilidad operacional y que originan necesidad de horas-hombre en los equipos de criticidad A y B, por lo cual reunimos el top ten semanal de tareas que vienen generando paradas en los equipos.

Tabla 12. Registro semanal de actividades en tractores y excavadoras

Equipo	Tensado de cadenas (falla)	Lavado por condición	Lavado (falla)	Lavado por necesidad	Medición en desgaste de cadenas	Muestreo de aceites (flushing solo para excavadoras)	Cambio de filtro de aire	Reparación de manguera de engrase a barra ecualizadora	
Tractores	D8T-1	5	2		1	2	1	0	0
	D8T-2	4	1	1	1	2	1	0	0
	D8T-3	5	1		1	2	1	0	1
	D8T-4	5	1	1	1	2	1	0	0
	D8T-5	5	1		1	2	1	0	0
	D8T-6	4	1	1	1	2	1	0	0
	D8T-7	4	1		1	2	1	0	0
	D8T-8	5	1	1	1	2	1	0	0
	D8T-9	4	1		1	2	1	0	1
	D8T-10	5	2		1	2	1	0	0
	D8T-11	1			1	2	1	1	0
	D8T-12	1	1		1	2	1	1	0
Excavadoras	326D2L-1	2		1		1	1	-	-
	326D2L-2	2		2		1	1	-	-
	326D2L-3	2		1		1	1	-	-
	326D2L-4	2		1		1	1	-	-
	326D2L-5	2		1		1	1	-	-
SUMATORIA TOTAL DE ACTIVIDADES								143	

Fuente: elaboración propia

Calculamos la pérdida de disponibilidad inherente (A_i) para las fallas más significativas, en este caso las involucradas en el tractor D8T CAT.

Fórmula para el cálculo de la disponibilidad inherente (A_i):

$$\text{Disponibilidad inherente} = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad (\text{ISO 14224})$$

Donde:

λ : ratio de falla

μ : ratio de reparación

Esta fórmula no es suficiente para evaluar los dos parámetros de confiabilidad (λ y μ), es necesario evaluar por separado estos dos parámetros basándose en el MTTF observado para el ratio de falla y el MTTR observado para el ratio de reparación. De esta manera la cantidad de datos incrementará y las estimaciones de los cálculos llegarán a ser cercanos a los cálculos matemáticos verdaderos.

Ratio de falla

$$\lambda = \frac{n}{t} \quad (\text{ISO 14224})$$

$$\text{MTTF} = 1/\lambda \quad (\text{ISO 14224})$$

Donde:

λ : ratio de falla

n: número de fallas observadas

t: Tiempo agregado en servicio, medido como tiempo de vigilancia o tiempo de operación (es la sumatoria del tiempo de operación de cada uno de los equipos involucrados).

MTTF: (Mean Time To Failure) es el tiempo medio transcurrido hasta la falla, estimado utilizando los tiempos activos reales observados en campo.

Ratio de reparación

$$\mu = \frac{n}{MRT} \quad (\text{ISO 14224})$$

$$MRT = 1/\mu \quad (\text{ISO 14224})$$

Donde:

μ : ratio de reparación

n: número de reparaciones

MRT: (Mean overall Repairing Time) tiempo medio de reparación general, es la sumatoria del tiempo de reparación de cada uno de los equipos involucrados).

*El MRT se tomará como $MTTRes$ para los cálculos.

$MTTRes$: (Mean Time To Restoration) es el tiempo medio para restaurar, estimado desde que se encuentra la falla hasta que el activo esté nuevamente disponible en campo.

Entonces tenemos para la fórmula de disponibilidad inherente (A_i).

$$A_i = \frac{MTTF}{MTTF + MTTRes} \quad (\text{ISO 14224})$$

* Nota: $MTTF + MTTRes = MTBF$ (ISO/TR 12489)

MTBF: (Mean Time Between Failures) es el tiempo medio entre fallas sucesivas de un ítem reparable visto en operación.

Tabla 13. Perdida semanal de Ai por fallas referidas a tensado de tractores D8T

Equipo		Tensado de cadenas (falla)	Tiempo de parada (h)	MTTF (h) Periodo de 140 h	MTTRes (h)	Perdida de Ai
Tractores	D8T-1	5	2.92	29.9	0.6	2.1%
	D8T-2	4	2.33			1.7%
	D8T-3	5	2.92			2.1%
	D8T-4	5	2.92			2.1%
	D8T-5	5	2.92			2.1%
	D8T-6	4	2.33			1.7%
	D8T-7	4	2.33			1.7%
	D8T-8	5	2.92			2.1%
	D8T-9	4	2.33			1.7%
	D8T-10	5	2.92			2.1%
	D8T-11	1	0.58	139.4	0.58	0.4%
	D8T-12	1	0.58	139.4	0.58	0.4%

Fuente: elaboración propia

Para tractores que trabajan en canchas de relave (los 10 primeros), el MTTF es 29.9 h, el MTTRes es 0.6 h y el MTBF es 30.5 h para tareas de tensado

Tabla 14. Perdida semanal de Ai por fallas referidas a lavado de Tractores D8T

Equipo		Lavado (condición y falla)	Tiempo de parada (h)	MTTF (h) Periodo de 140 h	MTTRes (h)	Perdida de Ai
Tractores	D8T-1	2	1.50	86.7	0.75	1.1%
	D8T-2	2	1.50			1.1%
	D8T-3	1	0.75			0.5%
	D8T-4	2	1.50			1.1%
	D8T-5	1	0.75			0.5%
	D8T-6	2	1.50			1.1%
	D8T-7	1	0.75			0.5%
	D8T-8	2	1.50			1.1%
	D8T-9	1	0.75			0.5%
	D8T-10	2	1.50			1.1%
	D8T-11	0	0	0	0	0.0%
	D8T-12	1	0.75	139.25	0.75	0.5%

Fuente: elaboración propia

Para tractores que trabajan en canchas de relave (los 10 primeros), el MTTF es 86.7 h, el MTTRes es 0.75 h y el MTBF es 87.5 h para tareas de lavado

Tabla 15. Perdida semanal de Ai por fallas referidas a tensado y lavado de Tractores D8T

Equipo		Tensado de cadenas (falla)	Tiempo de parada por tensados (h)	Lavado (condición y falla)	Tiempo de parada por lavados (h)	MTTF (h) Periodo de 140 horas	MTTRes (h) Periodo de 140 horas	Disponibilidad Inherente	Perdida de Ai
Tractores	D8T-1	5	2.92	2	1.50	22	0.63	96.8%	3.2%
	D8T-2	4	2.33	2	1.50			97.3%	2.7%
	D8T-3	5	2.92	1	0.75			97.4%	2.6%
	D8T-4	5	2.92	2	1.50			96.8%	3.2%
	D8T-5	5	2.92	1	0.75			97.4%	2.6%
	D8T-6	4	2.33	2	1.50			97.3%	2.7%
	D8T-7	4	2.33	1	0.75			97.8%	2.2%
	D8T-8	5	2.92	2	1.50			96.8%	3.2%
	D8T-9	4	2.33	1	0.75			97.8%	2.2%
	D8T-10	5	2.92	2	1.50			96.8%	3.2%
	D8T-11	1	0.58	0	0.00	139.42	0.58	99.6%	0.4%
	D8T-12	1	0.58	1	0.75	69.33	0.67	99.0%	1.0%

Fuente: elaboración propia

Para tractores que trabajan en canchas de relave (los 10 primeros). El MTTF es 22 h, el MTTRes es 0.63 h, el MTBF promedio es 22.63 h y un promedio en pérdida de Ai del 2.8 % por equipo en tareas de lavado y tensado (3.9 horas de parada semanalmente).

3.1.4 Taxonomía

Antes de analizar los activos seleccionados, establecemos el nivel al cual será desarrollado el análisis y definimos los límites del sistema, por lo tanto, vamos a analizar el activo hasta el nivel 9 de taxonomía (pieza) según ISO 14224 y como límites para analizar tenemos 2 sub-unidades del activo, el Tren de rodamiento al que nos enfocaremos en los componentes de desgaste (eslabones, bujes, rodillos, rueda motriz y ruedas guía) y el Sistema de refrigeración que analizaremos los cores e intercambiadores de calor.

Tabla 16. Taxonomía del activo

Categoría Principal	Nivel Taxonómico	Jerarquía de Taxonomía	Definición	Descripción
Datos de uso/ ubicación	1	Industria	Tipo de industria principal	Industria Minera
	2	Categoría del Negocio	Tipo de negocio o flujo de proceso	Producción de cobre
	3	Categoría de Instalación	Tipo de Instalación	Planta de procesamiento de minerales (Planta concentradora)
	4	Categoría de Planta/Unidad	Tipo de planta/unidad	Planta de procesamiento en tierra (Onshore production plant)
	5	Sección/ Sistema	Sección/Sistema principal de planta	Procesos de relaves (plantas y flota de equipo pesado para la construcción del tranque de relaves)
Sub- división de equipos	6	Clase de equipo/unidad	Clase de equipo	Tractor topador D8T CAT
	7	Sub-unidad	Subsistema necesario para la función del equipo	Tren de rodamiento - Sistema de refrigeración
	8	Componente/Item Mantenable	Grupo de piezas que comúnmente se mantienen (se reparan, se restauran como un todo)	Cadenas y bastidores - Radiador
	9	Pieza	Parte individual del equipo	Eslabón, bujes, rodillos, rueda motriz y ruedas guía - cores e intercambiadores de calor

Fuente: elaboración propia

3.2. Análisis del problema

3.2.1 Análisis de tareas

Con los datos obtenidos, procedemos a determinar por qué están ocurriendo esas tareas en los equipos de criticidad A y B, conocer cuales requieren de su atención y que causas, efectos y consecuencias son propias de estas tareas.

Tabla 17. Origen de tareas en Tractores y Excavadoras

Tareas	Origen	Nro. de Paradas	Descripción del origen de la tarea
Tensado de cadenas en tractores	Falla	48	Cadena de tractor tensada o destensada
Lavado de tractores	Necesidad, condición y Falla	29	Lavados por necesidad (medición de desgaste e inspecciones pre-PM), condición (relave en el sistema de refrigeración que puede quedar fuertemente impregnado deteriorando los cores y otras zonas del tractor que impiden la inspección pre-uso) y fallas por sobrecalentamiento de motor, sistema hidráulico y de transmisión
Medición de desgaste en tren de rodamiento de tractores	Necesidad	24	Requerido para saber el tiempo de vida restante de los componentes del tren de rodamiento, compra y programación de reemplazo
Muestreo de aceites en tractores	Necesidad	12	Requerido por Mtto. predictivo para monitorear Motor y Mandos finales
Muestreo y flushing de aceites en excavadoras	Necesidad	5	Muestreo requerido por Mtto. predictivo para monitorear motor y mandos finales, flushing por exceso de contaminación en mandos finales
Tensado de cadenas en excavadoras	Falla	10	Cadena de excavadora tensada o destensada
Lavado de excavadoras	Necesidad	6	Lavados por medición de desgaste en el tren de rodamiento e inspecciones pre-PM
Medición de desgaste en tren de rodamiento de excavadoras	Necesidad	5	Requerido para saber el tiempo de vida restante de los componentes, compra y programación de reemplazo
Reparación de manguera de engrase a barra ecualizadora en tractores	Falla	2	Correctivos en la manguera de engrase a la barra ecualizadora debido a roturas u obstrucciones
Cambio de filtro de aire en tractores	Falla	2	Filtro de aire saturado (motor) en tractores trabajando en tierra

Fuente: elaboración propia

Tabla 18. Tiempos de parada semanales por tareas en Tractores y Excavadoras

Tareas	Nro. de Paradas	MTTRes / Tiempo de intervención (min)	Tiempo total de paradas (min)	Frecuencia acumulada (Tiempo de parada en min)	Tiempo total de Parada (%)	Acumulado (%)
1.Tensado de cadenas en tractores	48	35	1680	1680	31.55%	31.55%
2.Lavado de tractores	29	45	1305	2985	24.51%	56.06%
3.Medición de desgaste en tren de rodamiento de tractores	24	35	840	3825	15.77%	71.83%
4.Muestreo de aceites en tractores	12	30	360	4185	6.76%	78.59%
5.Muestreo y flushing de aceites en excavadoras	5	70	350	4535	6.57%	85.16%
6.Tensado de cadenas en excavadoras	10	30	300	4835	5.63%	90.80%
7.Lavado de excavadoras	6	40	240	5075	4.51%	95.31%
8.Medición de desgaste en tren de rodamiento de excavadoras	5	32	160	5235	3.00%	98.31%
9.Reparación de manguera de engrase a barra ecualizadora en tractores	2	30	60	5295	1.13%	99.44%
10.Cambio de filtro de aire en tractores	2	15	30	5325	0.56%	100.00%
TOTAL	143	362	5325	42975	100%	

Fuente: elaboración propia

Tenemos 5325 min (88.75 h) invertidas en realizar estas tareas de tensado (Anexo 2 y 3) y lavado en los tractores y las excavadoras, 2 mecánicos son necesarios para realizar cada una de ellas por lo tanto se necesita 177.5 horas-hombre por semana.

Revisando solo las tareas en la flota crítica (Tractores D8T), se sabe que necesitan 4275 min (71.25 h) semanales y que estos equipos mueven el material con el método de zanja. “El costo actual es \$ 77.33 por hora aplicando método en zanja” (Salas Moscoso, 2019, p32), para nuestro caso asumiremos \$ 80 por hora el costo, ya que el tiempo de vida promedio de nuestras cadenas es menor (3000 h), entonces el costo por detención de los tractores sería \$ 22800 al mes e incluyendo los costos de parada de las excavadoras, se estima un valor mínimo de \$ 25000 mensuales aproximadamente, que en realidad representan el costo de mover las cantidades de relave que dejan de mover mientras estos equipos están parados. Este ahorro monetario sirve de soporte para mejoras en la gestión como la tercerización de actividades.

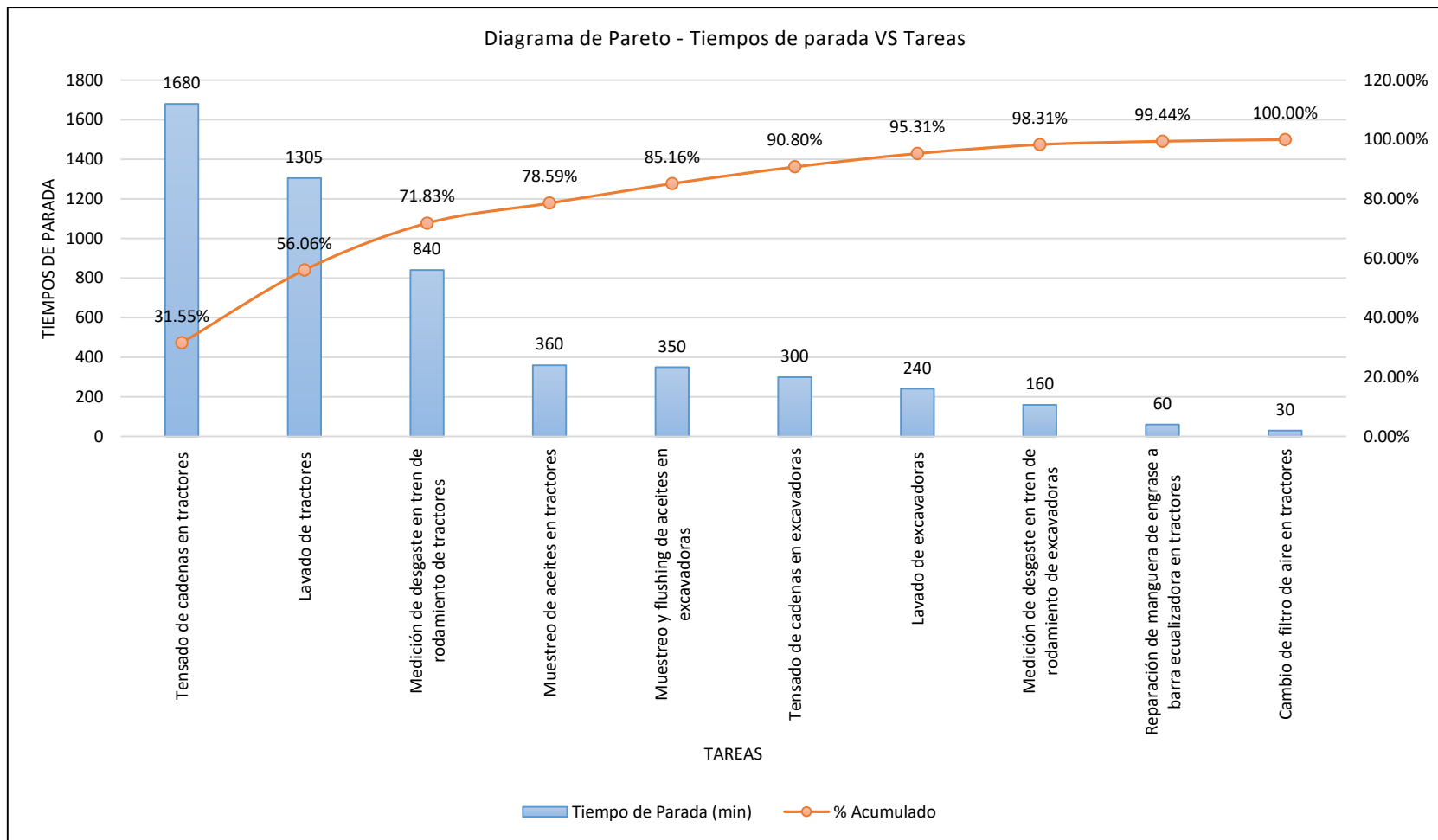


Figura 26. Diagrama de Pareto – Frecuencia acumulada de tareas en Tractores y Excavadoras

Fuente: elaboración propia

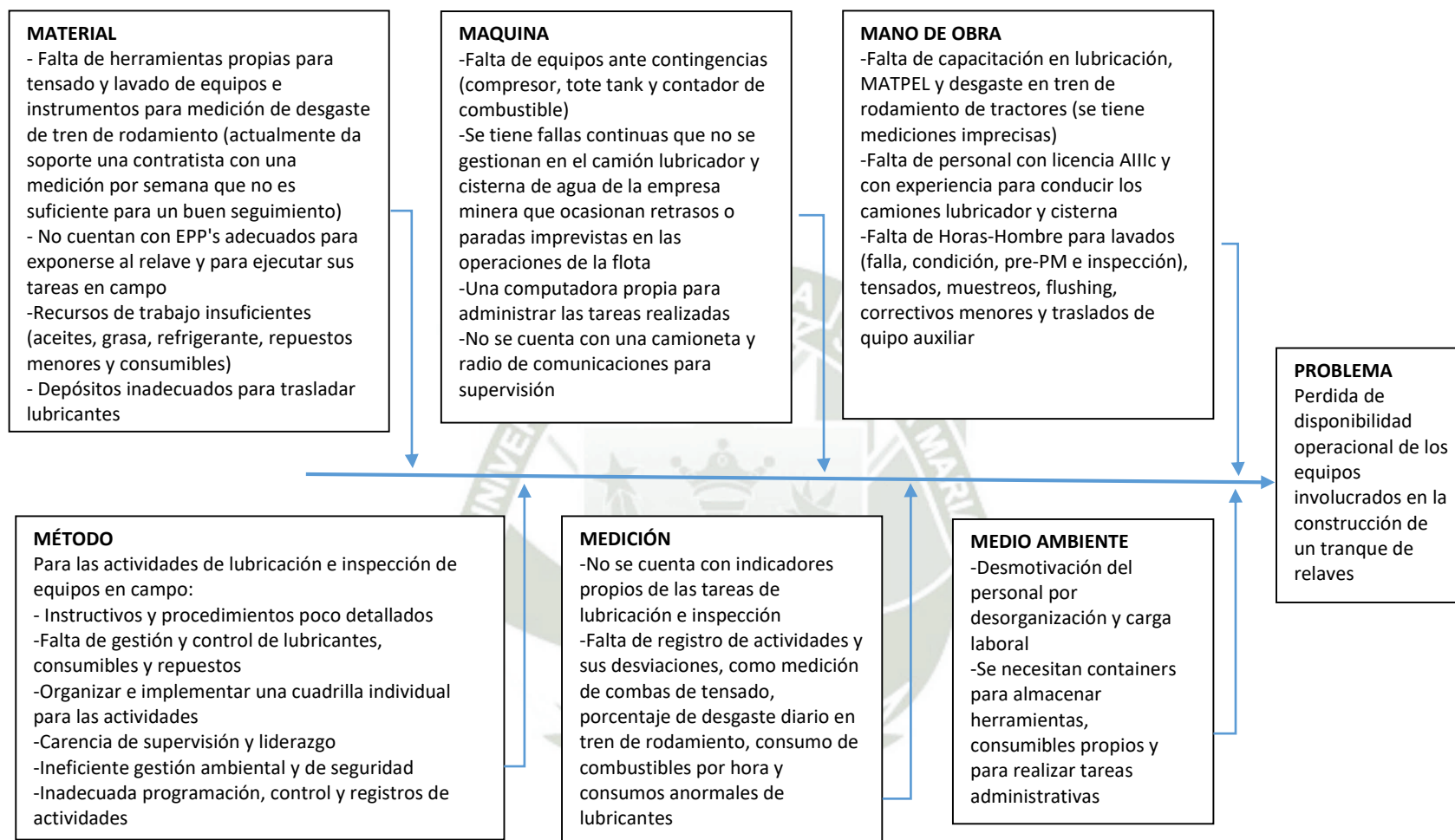


Figura 27. Analisis de categorías básicas en el área de Mantenimiento

Fuente: elaboración propia

Tabla 19. Análisis de modos, efectos y consecuencias de fallas

Equipo	Tractor topador D8T CAT				
Sistema	Función	Falla funcional	Modo de falla	Efectos de falla	Consecuencias de falla
Tren de rodamiento	1. Desplazar el equipo en forma de tracción y velocidad	A. No disponible para desplazar al equipo	1. Cadena de bastidor destensada, presenta golpes con la rueda delantera y el rodillo superior	El operador tiene que mover el tractor de su área de trabajo y estacionarlo en posición de mantenimiento, el operador avisa a mantenimiento para realizar la reparación (se estima un MTTRes de 35 minutos que afecta a operaciones). De no realizarse la reparación provocaría un desgaste acelerado de los componentes en el tren de rodamiento	Afecta al volumen de producción total, incremento del costo operacional sumado al costo directo de la reparación y afecta el servicio al cliente (operaciones).
			2. Cadena de bastidor tensada, presenta excesivo material compactado entre la rueda motriz y la cadena	El operador tiene que mover el tractor de su área de trabajo y estacionarlo en posición de mantenimiento, el operador avisa a mantenimiento para realizar la reparación (se estima un MTTRes de 35 minutos que afecta a operaciones). De no realizarse la reparación provocaría un desgaste acelerado de los componentes en el tren de rodamiento	Afecta al volumen de producción total, incremento del costo operacional sumado al costo directo de la reparación y afecta el servicio al cliente (operaciones)
Sistema de refrigeración (Anexo 11)	2. Disipar el calor del motor, sistema hidráulico y sistema de transmisión	A. Incapaz de disipar el calor de otros sistemas	1. Sistema de refrigeración con acumulación de relave, no realiza el intercambio de calor con el medio ambiente	El operador tiene que mover el tractor de su área de trabajo y estacionarlo en posición de mantenimiento, el operador avisa a mantenimiento para realizar el lavado del sistema de refrigeración (se estima un tiempo de lavado de 45 minutos que afecta a operaciones). De no realizarse el lavado provocaría sobrecalentamiento en el motor, sistema de transmisión y sistema hidráulico	Afecta al volumen de producción total, incremento del costo operacional sumado al costo directo de la reparación y afecta el servicio al cliente (operaciones)

Fuente: elaboración propia

Tabla 20. Árbol lógico de fallas desarrollado

Sistema	Función	Falla funcional (Pérdida de la función)	Modo de falla (Causa de la falla)	Hipótesis	Raíces físicas	Raíces humanas	Raíces latentes
Tren de rodamiento	1. Desplazar el equipo en forma de tracción y velocidad	A. No disponible para desplazar al equipo con un desgaste regular de los componentes del tren de rodamiento	1. Cadena de bastidor destensada	El tren de rodamiento recibe varias cargas de impacto en la operación y activa el sistema de alivio de presión en el bastidor. Desgaste por material sumamente abrasivo. El tractor cambió de terreno de trabajo y liberó material compactado en el tren de rodamiento. No se revisó el tensado de las cadenas antes de operar el equipo	La comba en las cadenas del tractor está fuera de su rango (mayor a 5 1/4 "), presenta golpes con la rueda delantera y el rodillo superior	Tensado e inspección de cadenas inadecuado	Falta de procedimientos y planificación en tareas de tensado e inspección de cadenas. Entrenamiento inadecuado para la intervención
			2. Cadena de bastidor tensada	El tractor cambió de terreno de trabajo y se compactó material en el tren de rodamiento. No se revisó el tensado de las cadenas antes de operar el equipo	La comba en las cadenas del tractor está fuera de su rango (menor a 4 3/4 "), presenta excesivo material compactado entre la rueda motriz y la cadena		
Sistema de refrigeración	2. Disipar el calor del motor, sistema hidráulico y sistema de transmisión	A. Incapaz de disipar el calor del motor, sistema hidráulico y sistema de transmisión	1. Acumulación de relave en sus intercambiadores de calor	El relave salpicó de la superficie de trabajo hacia el sistema de refrigeración por los movimientos que realiza el equipo	Sistema de refrigeración no realiza el intercambio de calor con el medio ambiente ya que gran área de los intercambiadores se encuentra impregnada de relave	Lavado e inspección inadecuada de los componentes afectados por el relave en el sistema de refrigeración	Falta de un programa de lavado y capacitación para lavar el sistema de refrigeración

Fuente: elaboración propia

Tabla 21. Tareas propuestas en hoja de decisión RCM II

Activo			Tractor topador D8T CAT											Tareas a falta de	Tareas propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas a falta de							
							S1	S2	S3								
							O1	O2	O3								
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4					
1	A	1	S	N	N	S	S						Verificar el tensado de cadenas e inspeccionar del tren de rodamiento	2 días	Mecánico		
1	A	2	S	N	N	S	S						Verificar el tensado de cadenas e inspeccionar del tren de rodamiento	2 días	Mecánico		
2	A	1	S	N	N	S	S						Inspeccionar limpieza y estado del sistema de refrigeración	3 a 4 días	Mecánico		

Fuente: elaboración propia

Para revisar las tareas restantes, evaluamos con un diagrama Jackknife si conviene realizarlas, nos permite saber las prioridades que debemos de tomar en mantenimiento de una manera gráfica para ver que indicador podemos mejorar como, confiabilidad, mantenibilidad, y disponibilidad.

Tabla 22. Tareas restantes de top ten semanal seleccionado

Tareas (razones)	Nro. de Paradas	MTTRes / Tiempo de intervención (min)	Tiempo total de paradas (min)	Frecuencia Acumulada (Tiempo de parada en min)	Tiempo total de Parada (%)	Acumulado (%)
1.Tensado de cadenas en tractores	48	35	1680	1680	31.55%	31.55%
2.Lavado de tractores	29	45	1305	2985	24.51%	56.06%
3.Medición de desgaste en tren de rodamiento de tractores	24	35	840	3825	15.77%	71.83%
4.Muestreo de aceites en tractores	12	30	360	4185	6.76%	78.59%
5.Muestreo y flushing de aceites en excavadoras	5	70	350	4535	6.57%	85.16%
6.Tensado de cadenas en excavadoras	10	30	300	4835	5.63%	90.80%
7.Lavado de excavadoras	6	40	240	5075	4.51%	95.31%
8.Medición de desgaste en tren de rodamiento de excavadoras	5	32	160	5235	3.00%	98.31%
9.Reparación de manguera de engrase a barra ecualizadora en tractores	2	30	60	5295	1.13%	99.44%
10.Cambio de filtro de aire en tractores	2	15	30	5325	0.56%	100.00%
TOTAL	143	362	5325	42975	100%	

Fuente: elaboración propia

Tenemos las razones, número de paradas, el tiempo de intervenciones (MTTRes / Tiempo de intervenciones) y el tiempo total de paradas. Entonces realizamos un gráfico, en el eje Y, estarán los MTTRes / Tiempo de intervenciones de cada razón, y en el eje X, el Nro. de paradas, así obtenemos un diagrama en el cual cada punto identifica una razón. Para observar áreas en las que el Tiempo de parada o Down Time (DT) presentan valores determinados, adicionaremos 4

líneas DT las cuales graficaran el límite de las áreas con tiempo de DT de 900 min, 300 min, 200 min y 50 min. Para ello tenemos que ubicar puntos en el grafico que nos den el mismo tiempo de DT, jugaremos con valores imaginarios de Nro. de paradas multiplicados por MTTRes / Tiempo de intervenciones.

Tabla 23. Líneas de Tiempo de parada o Down Time (DT)

Líneas de Tiempo de parada o Down Time (DT)				
Nro. de Paradas	DT 900	DT 300	DT 200	DT 50
	MTTRes / Tiempo de intervenciones (imaginario)	MTTRes / Tiempo de intervenciones (imaginario)	MTTRes / Tiempo de intervenciones (imaginario)	MTTRes / Tiempo de intervenciones (imaginario)
1	900.00	300.00	200.00	50.00
5	180.00	60.00	40.00	10.00
10	90.00	30.00	20.00	5.00
15	60.00	20.00	13.33	3.33
20	45.00	15.00	10.00	2.50
25	36.00	12.00	8.00	2.00
30	30.00	10.00	6.67	1.67
35	25.71	8.57	5.71	1.43
40	22.50	7.50	5.00	1.25
45	20.00	6.67	4.44	1.11
50	18.00	6.00	4.00	1.00
55	16.36	5.45	3.64	0.91
60	15.00	5.00	3.33	0.83
65	13.85	4.62	3.08	0.77
70	12.86	4.29	2.86	0.71
75	12.00	4.00	2.67	0.67
80	11.25	3.75	2.50	0.63
85	10.59	3.53	2.35	0.59
90	10.00	3.33	2.22	0.56
95	9.47	3.16	2.11	0.53
100	9.00	3.00	2.00	0.50

Fuente: elaboración propia

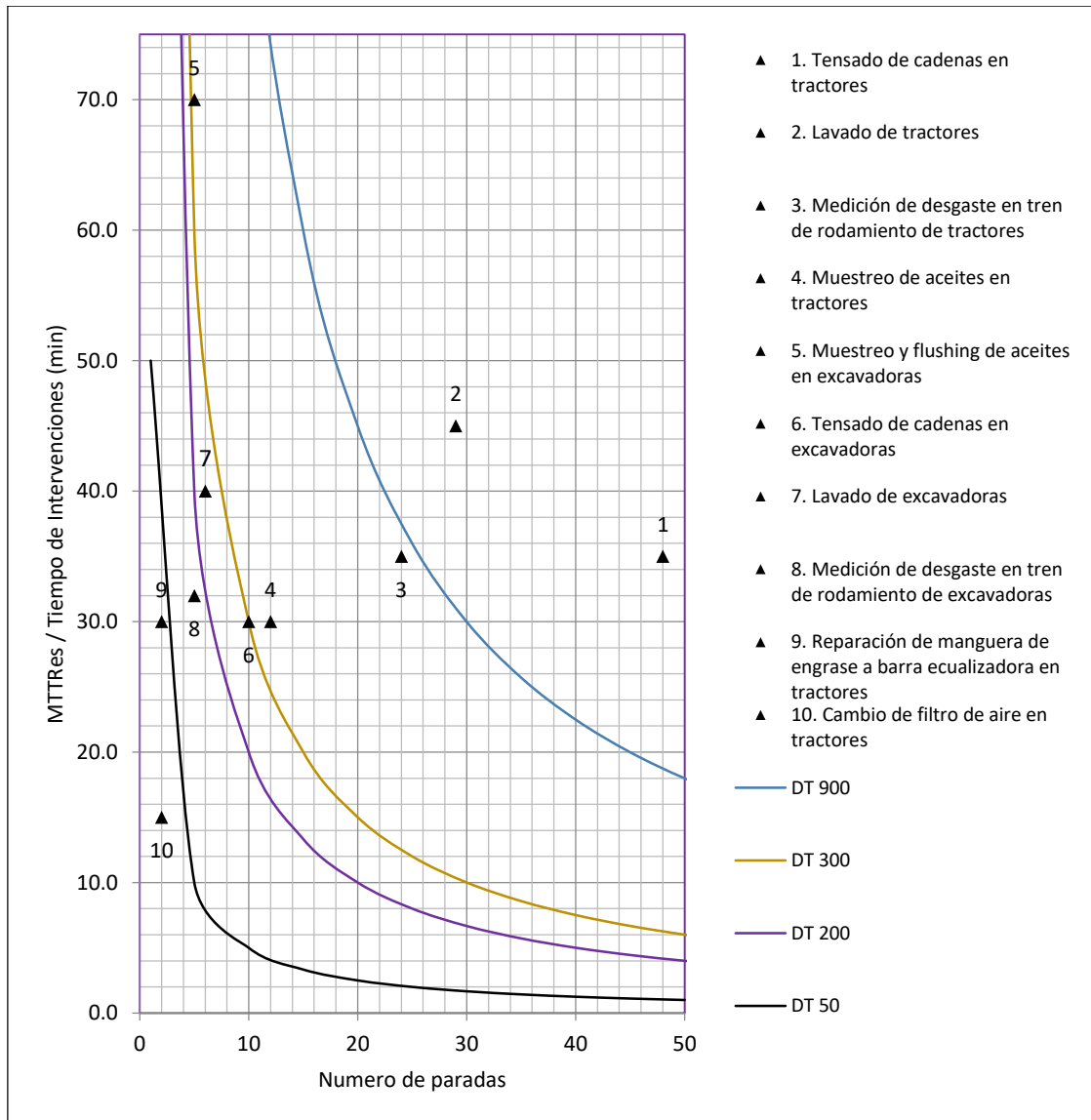


Figura 28. Tiempos de MTTRes/Intervenciones vs Nro. de paradas

Fuente: elaboración propia

Ahora para convertir esas líneas de DT en rectas y ver más claramente el gráfico, cada axis lo convertimos a escala logarítmica. También definiremos 4 zonas de este diagrama para ver cómo afectan estas tareas y para ello tenemos que graficar 2 líneas límites.

a) límite de MTTRes/Tiempo de intervención:

$$\text{Límite de MTTRes/Tiempo de intervención} = \frac{\text{Sumatoria de Tiempo Total de paradas}}{\text{Suma total del Nro. de paradas}}$$

$$\text{Límite de MTTRes/Tiempo de intervención} = \frac{5325}{143} = 37.24 \text{ min}$$

b) Límite de Nro. de paradas:

$$\text{Límite de Nro. de paradas} = \frac{\text{Suma del número total de paradas}}{\text{Numero total de razones}}$$

$$\text{Límite del Nro. de Paradas} = \frac{143}{10} = 14.3 \text{ paradas}$$

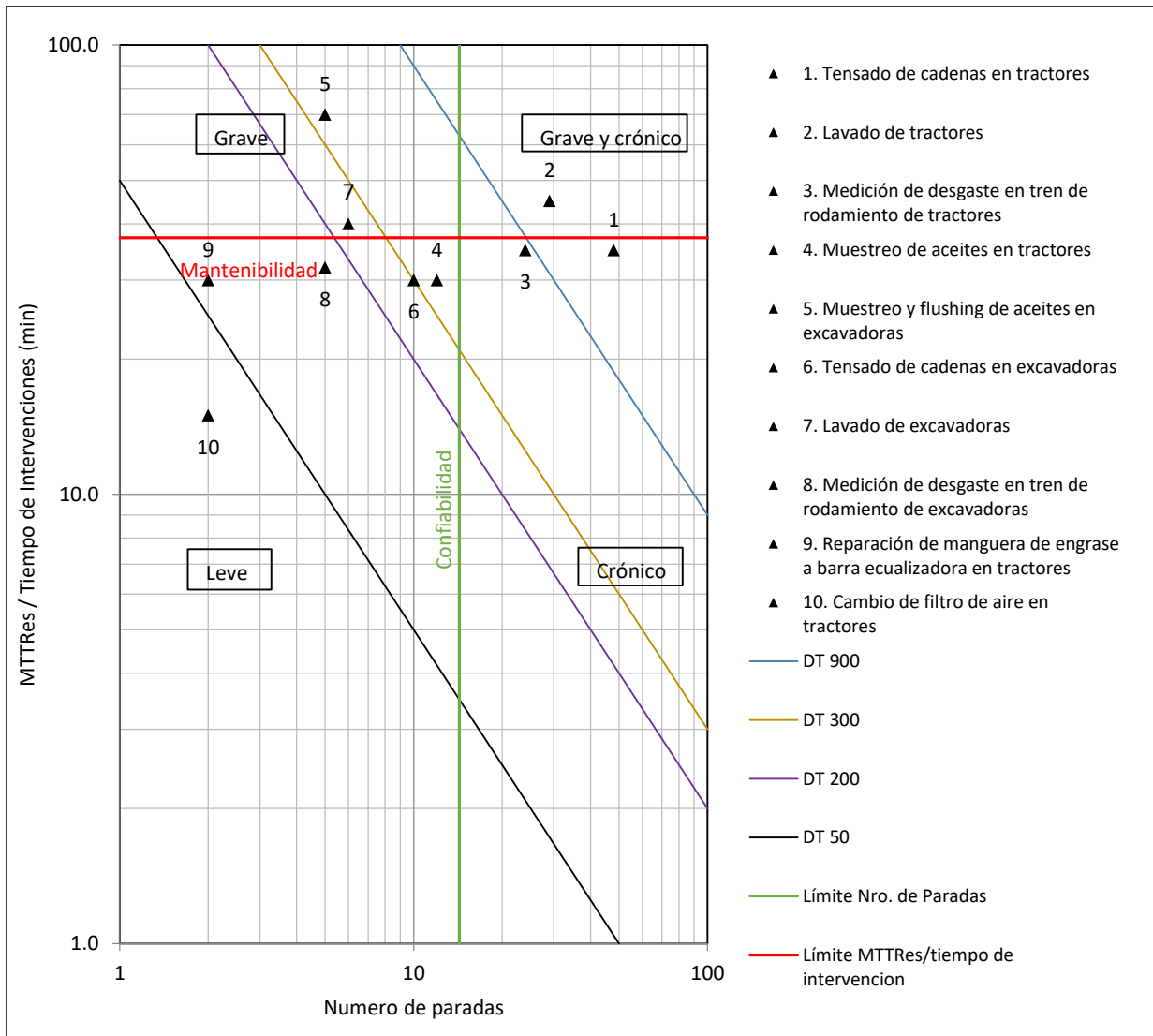


Figura 29. Tiempos de MTTRes/Intervenciones vs Nro. de paradas con Líneas de Down Time

Referencia: elaboración propia

Como se puede observar, las tareas 5 y 7 están por encima del límite de Mantenibilidad y la 9, 8 y 6 están cerca a los límites de Confiabilidad y Mantenibilidad, por lo cual se consideran importantes para el contexto operacional. Se tiene en cuenta el punto de la zona donde se ubican.

Tenemos 4 zonas:

-Leve: zona en la cual el número de paradas es poco y es corto el tiempo que duran, los motivos de paradas que están en esta zona son de menor importancia con referencia a las demás.

-Grave: esta zona el tiempo de parada es amplio, por lo que nos da a conocer que la Mantenibilidad es ineficiente en los equipos.

-Crónico: en esta zona las paradas de un equipo son frecuentes, por lo que nos da a conocer que la Confiabilidad es baja.

-Grave-Crónico: en esta zona se identifican las tareas de paradas que originan una ineficiencia en mantenibilidad y confiabilidad, la cual se da a conocer en Down Time (DT) o no disponibilidad.

3.2.2 Análisis de disponibilidad operacional y carga laboral

3.2.2.1 Disponibilidad operacional

Calculamos la Disponibilidad Operacional (Ao) referida todas las tareas de tensado y lavado de los equipos con criticidad A que son los Tractores D8T CAT.

$$\text{Disponibilidad Operacional (Ao)} = \frac{\text{MUT}}{\text{MUT} + \text{MDT}}$$

MUT: (Mean Up Time) es el tiempo medio de actividad, estimado utilizando el tiempo activo real de trabajo observado en campo.

MDT: (Mean Down Time) es el tiempo medio de parada, estimado utilizando el tiempo activo de trabajo y tiempo de parada real observados en campo.

Teniendo 12 Tractores trabajando 20 horas al día, en una semana tenemos 1680 horas, de las cuales 4275 min (71.25 h) son horas de paradas por tareas de tensado y lavado de los equipos.

Las horas restantes son para operar, por lo tanto:

$$MUT = 1680 - 71.25 = 1608.75$$

$$Ao = \frac{MUT}{MUT + MDT} = \frac{1608.75}{1608.75 + 71.25} = 95.76 \%$$

Solo estas tareas de tensado y lavado en los Tractores provoca una pérdida semanal de Ao del 4.24% y 142.5 horas-hombre invertidas (71.25 h de parada en los equipos con 2 mecánicos trabajando).

Realizando el mismo cálculo, solo para tareas de tensado y lavado en Excavadoras tenemos una pérdida de Ao del 2.5% y 35 horas-hombre invertidas (17.5 h de parada en los equipos con 2 mecánicos trabajando).

3.2.2.2 Carga laboral

Teniendo 177.5 HH de carga laboral por realizar en la semana, referidas a todas las tareas de tensado y lavado de equipos y un personal disponible de 10 mecánicos que al día trabajan 20 horas, calculamos la carga laboral por realizar (trabajo por encargarse a realizar de una semana).

$$Carga\ laboral\ por\ realizar = \frac{Total\ de\ horas - hombre\ de\ trabajos\ a\ realizar}{Horas - hombre\ disponibles\ semanalmente}$$

$$Carga\ laboral\ por\ realizar = \frac{177.5\ HH}{1400\ HH} = 12.7 \%$$

Esto quiere decir que, para cumplir con las tareas, dicho personal trabaja cada semana un 12.7 % de sus HH disponibles en tareas de tensado y lavado de equipos de la flota, las cuales ocasionan retrasos de otras actividades planificadas.

3.3. Planificación

Una vez diagnosticada la situación actual y analizado el problema, comenzamos a planificar la solución asignando responsabilidades a los encargados, viendo de qué manera se realizarán las actividades y estableciendo indicadores de desempeño para obtener información acerca de cómo se van desarrollando las actividades y los logros realizados.

Establecemos un programa semanal para ejecutar las tareas en campo.

Tabla 24. Programación semanal de trabajos

Equipo		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Tractores	D8T-1	x		x + m		x		x + m
	D8T-2	x		x + m		x		x + m
	D8T-3	x		x + m		x		x + m
	D8T-4	x		x + m		x		x + m
	D8T-5	x + m		x		x + m		x
	D8T-6	x + m		x		x + m		x
	D8T-7	m	x		x	m	x	
	D8T-8	m	x		x	m	x	
	D8T-9		x + m		x		x + m	
	D8T-10		x + m		x		x + m	
	D8T-11		x + m		x		x + m	
	D8T-12		x + m		x		x + m	
Excavadoras	326D2L-1		x + m					
	326D2L-2			x + m				
	326D2L-3				x + m			
	326D2L-4						x + m	
	326D2L-5							
Leyenda								
x	Tensado de cadenas							
	Lavado de equipos							
x	Tensado de cadenas y lavado de equipo							
x + m	Tensado de cadenas y medición de desgaste en tren de rodamiento							
x + m	Tensado de cadenas, lavado de equipo y medición de desgaste en tren de rodamiento							

Fuente: elaboración propia

Todas las tareas se realizan en turno día mayormente y con un equipo de trabajo formado por 1 supervisor de mantenimiento (con contraguardía), 1 supervisor de seguridad y 6 mecánicos (con contraguardía) repartidos en 3 equipos de trabajo, para el turno noche solo trabajan 2 mecánicos (con contraguardía) en el camión lubricador, en cada tarea de tensado y medición de desgaste se realiza una inspección visual al tren de rodamiento y al equipo (Anexo 12 y 13), en los lavados de equipos se hace una inspección visual de todo el equipo y las tareas de muestreo de aceites se realizan 1 vez a la semana programadas previamente de acuerdo a los horómetros de las máquinas. Las tareas de revisión de niveles de aceites, abastecimiento de combustible, lubricantes, refrigerante, engrase en la flota de equipos y limpieza de filtros de aire, se realizarán de manera continua tanto de día como de noche, si se requiere de otra tarea como tensado de cadenas, lavados de equipos, muestreo de aceites o reparaciones menores, las realizarán los 2 mecánicos de turno noche fuera del horario en que se ejecuta el mantenimiento oportuno. El reporte y seguimiento de fallas en el camión lubricador y el camión cisterna de agua, se comunicará al área de mantenimiento de la unidad minera para poder atender las reparaciones de una manera temprana.

Con el fin de incrementar lo mayor posible la disponibilidad operacional en los equipos con criticidad A de la flota, se optará por practicar el mantenimiento oportuno realizando tareas basadas en la condición cuando los equipos se encuentren en stand-by (hora de refrigerios y cambios de turno del personal propio de la unidad minera), por este motivo, todo el personal que realizará este mantenimiento comenzará sus tareas 1 hora antes que el personal de la unidad minera y también realizará su cambio de turno 1 hora antes del horario de salida. Esta práctica incrementará el MUT y reducirá el MDT incrementando la disponibilidad operacional. Los equipos de criticidad B pueden ser intervenidos fuera de los horarios de stand-by de la flota, ya que provocan menos impacto en la producción.

La gestión del mantenimiento, seguridad y medio ambiente realizada por el equipo de trabajo debe darse a conocer al área de mantenimiento y seguridad de la unidad minera, participando constantemente en las reuniones programadas de gestión y brindando datos actualizados en todo momento de las actividades en campo que se realizan. Mensualmente se presentará un informe detallado de los trabajos e indicadores obtenidos.

3.3.1 Actividades por equipo de trabajo:

Para iniciar las actividades se necesita establecer las actividades que va a realizar cada equipo de trabajo con sus herramientas y EPP recomendado.

Tabla 25. Equipo de trabajo 1- Camión Lubricador

Equipo 1 - Camión Lubricador	
Personas	2 mecánicos en turno día y 2 mecánicos en turno noche
Actividad principal	Revisión de niveles de aceites, abastecimiento de combustible, lubricantes, refrigerante, engrase en la flota de equipos y limpieza de filtros de aire
Actividad secundaria	Apoyo en mantenimientos preventivos (PM1) en campo, tensado de equipos, muestreo de aceites, reparaciones de líneas de engrase, ajustes mecánicos, cambio de repuestos menores (fittings, respiradores, filtros de aire, pernos, o'rings)
Herramientas y consumibles recomendados	Espátula 3", juego de dados milimétricos, rollo de nylon, cepillo de cerdas metálicas, brocha de 3", llave inglesa de 12", llave francesa de 12" y trapo industrial
EPP de trabajo recomendado	Guantes de badana, hyflex y de nitrilo, respirador con filtros para polvo, tapones auditivos u orejeras, casco, lentes de seguridad, zapatos punta de acero, mameluco y buzo tyvek

Fuente: elaboración propia



Figura 30. Camión lubricador

Fuente: Revista Perú Construye (2019) – Camión lubricador desarrollado por Soltrak

Tabla 26. Equipo de trabajo 2 - Camión Cisterna

Equipo de trabajo 2 - Camión Cisterna	
Personas	2 mecánicos
Actividad principal	Lavado de equipos
Actividad secundaria	Tensado de equipos, muestreo de aceites, medición de desgaste, traslado de equipo auxiliar, revisión de niveles de lubricantes, combustible y refrigerante, engrase de equipos, reparaciones de líneas de lubricación, ajustes mecánicos, mediciones de desgaste, cambio de repuestos menores (fittings, respiradores, filtros de aire, pernos, o'rings)
Herramientas y consumibles recomendados	Espátula 3", juego de dados milimétricos, rollo de nylon, pistola engrasadora eléctrica, cepillo de cerdas metálicas, brocha de 3", llave inglesa de 12", llave francesa de 12", trapo industrial y depósitos para traslado de lubricantes
EPP de trabajo recomendado	Guantes de badana, hyflex y de nitrilo, respirador con filtros de polvo, traje tyvek, botas antideslizantes, tapones auditivos u orejeras, casco, lentes de seguridad, mameluco y zapatos punta de acero

Fuente: elaboración propia



Figura 31. Camión cisterna de agua

Fuente: Superbid (2017) - Camión Freightliner modelo M2 106 6x4

Tabla 27. Equipo de trabajo 3 - Camioneta

Equipo de trabajo 3 – Camioneta	
Personas	1 supervisor de mantenimiento, 1 supervisor de seguridad y 2 mecánicos
Actividad principal	Tensado de equipos, medición de desgaste en tren de rodamiento, muestreo de aceites y supervisión de labores en mantenimiento, seguridad y medio ambiente
Actividad secundaria	Reparaciones en líneas de engrase, ajustes mecánicos, revisión de niveles de combustible, lubricantes y refrigerantes, engrase de equipos, cambio de repuestos menores (fittings, respiradores, filtros de aire, pernos, o'rings)
Herramientas y consumibles recomendados	Palanca con 3/4" de encastre, extensión con encastre de 3/4", bomba de vacío, cutter, martillo de bronce, cepillo de cerdas metálicas, llave inglesa de 12", llave francesa de 12", depósitos para traslado de lubricantes, juego de herramientas del servicio especial de cadenas 6V-9413 y grupo indicador de desgaste ultrasónico III 168-7720 CAT
EPP de trabajo recomendado	Guantes de badana, hyflex y de nitrilo, respirador con filtros de polvo, mameluco, tapones auditivos u orejeras, traje tyvek, botas antideslizantes, casco, lentes de seguridad y zapatos punta de acero

Fuente: elaboración propia



Figura 32. Camioneta puck up 4x4

Fuente: Toyota Perú (2019) – Camioneta Hilux (Pick up)

Para escoger los indicadores clave de desempeño (KPI) adecuados se utilizará la siguiente tabla:

Tabla 28. Matriz de indicadores para mantenimiento

Topic subjects	KPIs	Main Driven Areas			
Maintenance within physical asset management	PHA _i	Sustainability i = 1 to 3	Capacity Effectiveness Integrity i = 4 to 11	Service Level i = 12 to 13	Economics i = 14 to 20
Sub-function 1 Health - Safety Environment	HSE _i	Laws- Rules conformity i = 1 to 3	Statistical Records i = 4 to 12	Safe Practice i = 13 to 17	Prevention and Improvements i = 18 to 20
Sub-function 2 Maintenance Management	M _i	Strategy i = 1 to 3	Function i = 4 to 10	Technical Assessment i = 11 to 16	Continuous Improvement i = 17 to 20
Sub-function 3 People Professionalism	P _i	Manager i = 1 to 3	Engineer/Works Supervisor i = 4 to 9	Technical Specialist i = 10 to 12	Education i = 13 to 20
Sub-function 4 Maintenance Engineering	E _i	Capability Criticality i = 1 to 3	Durability i = 4 to 9	Preventive Maintenance i = 10 to 16	Engineering Improvements i = 17 to 20
Sub-function 5 Organization and Support	O&S _i	Structure and Support i = 1 to 8	Planning and Control i = 9 to 22	Productivity Effectiveness i = 23 to 28	Quality i = 29 to 30
Sub-function 6 Administration and Supply	A&S _i	Economics i = 1 to 6	Budget &Control i = 7 to 19	Outsourcing services i = 20 to 25	Materials spare parts i = 26 to 30
Information Communication Technology	ICT _i	Management i = 1 to 6	Administration and Supply i = 7 to 10	Organization and Support i = 11 to 13	Engineering i = 14 to 20

Fuente: CEN (2017). prEN 15341 Maintenance – Maintenance Key Performance Indicators

Los indicadores seleccionados para dar seguimiento a las tareas por realizar, son los siguientes:

Tabla 29. Indicadores seleccionados para el servicio

Indicadores	Tema	Áreas	Código de matriz
Disponibilidad operacional (Ao)	Mantenimiento dentro de la gestión de activos físicos	Capacidad, efectividad e integridad	PHA 8
Tiempo medio para restaurar (MTTRes)	Organización y soporte	Planeamiento y control	O&S 16
Tiempo medio entre fallas (MTBF)	Ingeniería de mantenimiento	Durabilidad	E 6
Carga de trabajo por realizar	Organización y soporte	Planeamiento y control	O&S 20

Fuente: elaboración propia

3.3.2 Tercerización

Se necesita encontrar personal que satisfaga todas las carencias que se tiene y que de flexibilidad en el proceso para desarrollar y ejecutar las actividades seleccionadas con gran nivel de calidad. La clave para realizar estas tareas es tener personal que aporte tecnología, conocimiento, habilidades y recurso humano bien capacitado que implemente procesos de mejora continua de manera sistemática. Por lo tanto, se propone una matriz para identificar si podemos tercerizar estas actividades.

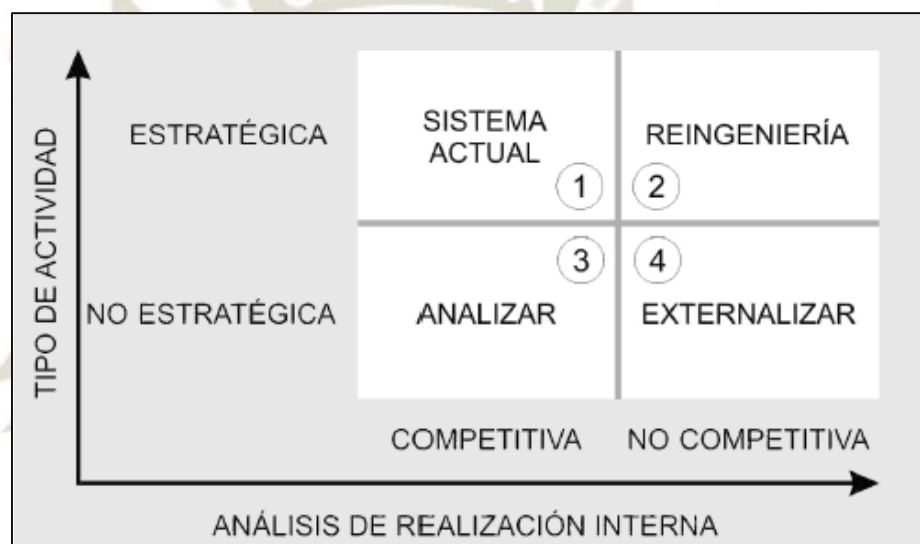


Figura 33. Matriz de decisión para tercerizar actividades de mantenimiento - modelo Price Waterhouse Coopers

Fuente: Gonzales Fernández, F. (2007). Contratación avanzada del mantenimiento

Con respecto a la actividad principal de las operaciones que realiza la unidad minera en el lugar, que es la construcción de los tranques de relaves, evaluamos las tareas de mantenimiento por el tipo de actividad o función estratégica que realiza para la compañía y la forma en cómo se realizan internamente estas tareas de mantenimiento.

En el cuadrante 1 el mantenimiento realiza actividades estratégicas y el proceso que realiza es competitivo, aquí no conveniente tercerizar. En el tercer cuadrante, el mantenimiento no es estratégico, pero si competitivo, no conveniente tercerizar porque su proceso es eficaz. En el cuarto cuadrante las actividades no son estrategias y el proceso de mantenimiento no es competitivo, se puede tercerizar, pero para este caso de análisis no aplica ya que las actividades que se realizan son estratégicas.

En el segundo cuadrante, la baja competitividad puede deberse a una metodología de trabajo inadecuada que requiere una reingeniería, además el proceso que realiza mantenimiento no es competitivo, en este cuadrante es donde ingresa todo el análisis que se realizó en las categorías básicas del mantenimiento (Ishikawa) con respecto a las actividades de tensado y lavado de la flota, cabe resaltar que evitando que se detenga la flota crítica y semi-crítica se tiene un ahorro monetario de \$25000, sin embargo, un estimado del costo por adquirir los servicios tercerizados es de \$32000 mensuales, esta diferencia monetaria está justificada por la necesidad de incrementar la disponibilidad operacional de los equipos, implementar rápidamente este servicio, la mano de obra calificada, las herramientas modernas que se utilizan, la generación de conocimiento, atender la sobrecarga de trabajo puntual, ejecutar una metodología para realizar sus tareas y la gestión adecuada de la seguridad y medio ambiente, por lo cual se toma la decisión de tercerizar estas actividades.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

Realizando de manera tercerizada las actividades de tensado y lavado en campo a los equipos y empleando el tipo de mantenimiento oportuno se obtuvieron resultados significativos en el área de mantenimiento, para lo cual se presenta una tabla en el cual se tienen registros de disponibilidad operacional (Ao) que son producto tanto por los PM 250, PM 500, PM 1000, PM 2000, cambio de cadenas y eventos ocurridos en campo como fugas en el sistema hidráulico, rellenos de aceites, fallas en el sistema eléctrico, ajustes mecánicos, fugas de refrigerante, atollamiento de los equipos en el relave, tensado de cadenas, lavado de equipos, muestreo de aceites, medición de desgaste en el tren de rodamiento, servicio de combustible y otros correctivos menores.

-Tractores con Ao entre 65-68 %: presentan registro de PM 2000 (cuadro rojo) o cambio de cadenas (cuadro amarillo) + fallas en campo

-Tractores con Ao entre 85-88 %: con registro de PM 1000 (cuadro naranja) + fallas en campo

-Tractores con Ao entre 90-92%: con registro de PM 500 (cuadro verde) + fallas en campo

-Tractores con Ao entre 93 - 93,6%: con registro de PM 250 (cuadro celeste) + fallas en campo

-Tractores con disponibilidad mayor 93.6%: solo con registro de fallas en campo y sin PM

Tabla 30. Incremento de la Disponibilidad Operacional (Ao) en la flota de Tractores D8T

Equipos		Ao por equipo (%) - Agosto 2019				Ao por equipo (%) - Septiembre 2019			
		Semana 56	Semana 57	Semana 58	Semana 59	Semana 60	Semana 61	Semana 62	Semana 63
Tractores	D8T-1	65.14	96.09	93.6	93.63	90.76	95.7	93.57	94
	D8T-2	85.55	92.9	93	94.33	90.05	94.9	93	94.77
	D8T-3	67.37	67.19	94.33	93.1	94.89	91.47	93.62	93.62
	D8T-4	93	95.2	85.7	95.12	93.25	93.62	90.84	95
	D8T-5	94.9	93.42	67.19	65.76	93.97	93.31	95.2	91.47
	D8T-6	94.33	85.67	94.51	93.41	95	90.28	67.48	93.11
	D8T-7	93.39	95.05	87.09	94.27	93.23	93.87	91.33	95
	D8T-8	95.1	90.76	95.05	93	95.06	66.47	95.05	93.47
	D8T-9	91.49	92.19	93.47	95.3	86.3	94.24	93.09	95.05
	D8T-10	95.05	90.54	95.05	93.61	65.05	85.76	94.54	93.29
	D8T-11	93.62	92.9	93.97	90.5	94.63	93.62	94.26	66.8
	D8T-12	95.05	91.47	95.05	93.2	95.05	87.19	95.16	93
Ao Regular Proyectada (%)		88.67	90.28	90.67	91.27	90.60	90.04	91.43	91.55
Ao Mejorada (%)		92.59	94.37	94.83	95.40	94.50	94.10	95.57	95.63
Aumento de Ao (%)		3.92	4.09	4.16	4.13	3.90	4.06	4.14	4.08
Tareas faltantes para el aumento Ao		4 Tensados + 4 Lavados	3 Tensados + 1 Lavado	1 Tensado + 1 Lavado	2 Tensados + 1 Lavado	6 Tensados + 3 Lavados	4 Tensados + 1 Lavado	3 Tensados	2 Tensados + 2 Lavados
Meta			95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%

Ao Regular Proyectada (%): Disponibilidad operacional calculada sin integrar las tareas de tensado y lavado tercerizadas a la gestión regular de Mtto.

Ao Mejorada (%): Disponibilidad operacional calculada integrando las tareas de tensado y lavado tercerizadas a la gestión regular de Mtto.

Referencia: elaboración propia

Se observa que se obtuvo en promedio un incremento de la disponibilidad operacional en la flota de tractores D8T del 4%, que representa el 97% de pérdida de disponibilidad operacional originada por los tiempos de paradas del top ten en estos equipos. Semanalmente los tractores D8T ya no presentan el sistema de refrigeración con relave impregnado y su MTTRes se redujo de 45 min a 35 min aproximadamente, las fallas por tensado de cadenas ahora ocurren una vez a la semana en determinados equipos, lo cual da como resultado un MTBF de 140 h (antes 30.5 h) y su MTTRes se redujo de 35 min a 27 min aproximadamente. Con respecto a la carga laboral que el personal de la unidad minera realizaba semanalmente en tareas de lavado y tensado (12.7% de sus HH disponibles semanales) se redujo a cero ya que ahora esas actividades están tercerizadas y se puede cumplir con todas las actividades programadas en el personal propio de la unidad minera.

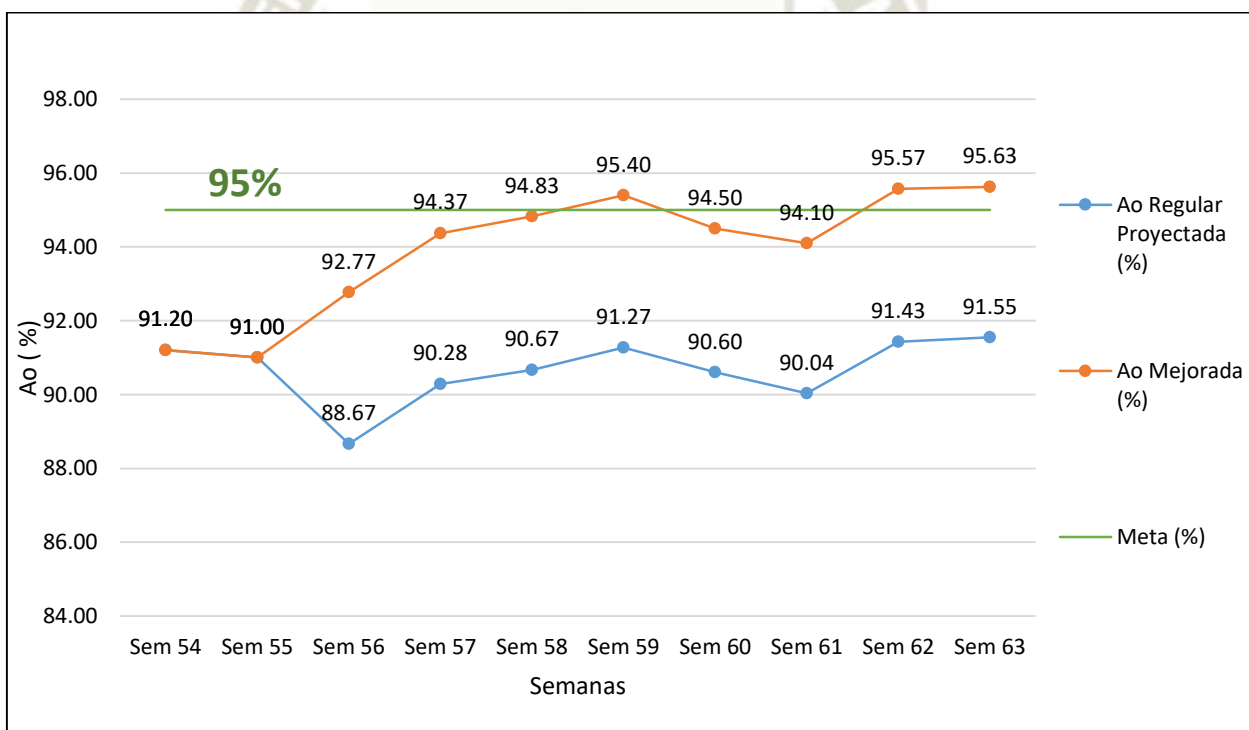


Figura 34. Incremento de la Disponibilidad Operacional (Ao) en la flota de Tractores D8T

Referencia: elaboración propia

4.2 Discusión

En esta investigación al desarrollar el proceso de Optimización Integral del Mantenimiento para incrementar la disponibilidad operacional en la flota crítica de maquinaria pesada perteneciente a la construcción de un tranque de relaves mineros, se pudo encontrar que la disponibilidad operacional incrementó en un 4%, la carga laboral por semana del personal propio de la unidad minera se redujo a 0% y se encontró un ahorro monetario de \$25000 por evitar que la flota crítica y semi-crítica se detenga. Esto quiere decir que, gracias al análisis de paradas, se encontró la mejor asistencia realizada por personal tercerizado, para que los equipos continúen operando y así evitar pérdidas monetarias ocasionadas por las detenciones de estos equipos. Frente a lo mencionado se acepta la hipótesis de la investigación donde se refiere que la Optimización Integral del Mantenimiento, permite mejorar los inconvenientes que afectan al área de mantenimiento, garantizando una operación segura y confiable. Estos resultados son corroborados por Barrientos (2017) quien en su investigación llegan a concluir que, utilizando la metodología de análisis de modos y efectos de falla en la gestión del mantenimiento para equipos de construcción, llega a mejorar la disponibilidad de estos equipos. Así también Villegas (2016) refiere que analizando la gestión de área de mantenimiento evaluando datos históricos, tiempos de parada, capital humano y los procesos, optimiza el desempeño de la empresa mediante el incremento de la disponibilidad de sus equipos y la disminución de los costos de operación. En tal sentido, bajo lo referido anteriormente y al analizar estos resultados, se confirma que, con la optimización integral del mantenimiento, enfocándose en una estrategia de mantenimiento para evitar paradas imprevistas de los equipos, analizando el talento humano requerido, los recursos materiales necesarios y un buen sistema y procedimientos, se logra incrementar la disponibilidad operacional en una flota de maquinaria pesada.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Primera: Se logró desarrollar el proceso de Optimización Integral del Mantenimiento que permitió 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.

Segunda: se identificó que se requiere de 177.5 HH y de los recursos humanos y materiales detallados en el Capítulo III para ejecutar las nuevas tareas de mantenimiento encontradas en el área.

Tercera: Se definió los equipos de trabajo de acuerdo a las actividades por realizar y el vehículo que utilizarían, 2 mecánicos en el camión lubricador, 2 mecánicos en el camión cisterna de agua, 1 supervisor de seguridad, 1 supervisor de mantenimiento y 2 mecánicos en una camioneta, que servirá para supervisar a los otros dos vehículos. Se precisó la forma en que se efectuarán las nuevas actividades de mantenimiento empleando el mantenimiento oportuno integrado a la gestión actual.

Cuarta: Se determinó que es admisible la viabilidad de tercerizar las nuevas actividades de mantenimiento, ya que el área no es competitiva en la forma que realiza internamente sus actividades, las cuales son de función estratégica para las operaciones de la unidad minera.

Quinta: Se establecieron los indicadores de gestión más apropiados para visualizar la efectividad de las actividades de mantenimiento producto de la optimización del mantenimiento, los cuales son:

- a. Disponibilidad operacional (Ao).
- b. Tiempo medio para restaurar (MTTRes).
- c. Tiempo medio entre fallas (MTBF).
- d. Carga de trabajo por realizar.

Sexta: El ahorro monetario estimado, obtenido por evitar que la flota crítica y semi-crítica presenten paradas durante operación es \$ 25000 mensualmente.

RECOMENDACIONES

Primera: Para evaluar un determinado número de equipos, en mantenimiento es primordial realizar un análisis de criticidad con variables propias del área de trabajo, para enfocarse en los equipos que generan gran impacto en las operaciones.

Segunda: En el manejo de políticas de fallas en mantenimiento, es importante definir el activo, modos de fallas y consecuencias de fallas y las funciones que este desempeña en su contexto operacional, trabajando con un equipo multidisciplinario con experiencia en el sector.

Tercera: para el proceso de optimización del mantenimiento es de suma importancia tener como soporte otras metodologías, así como el RCM y el ciclo de mejora continua, para poder detectar realmente el origen de problemas y tomar las mejores decisiones gerenciales.

Cuarta: Al realizar un diagrama de Pareto, analizar si las tareas fuera de selección tienen importancia, en mantenimiento, una herramienta muy eficaz es utilizar un diagrama Jackkife ya que puede revelar zonas donde las ocurrencias de eventos pueden afectar la mantenibilidad, confiabilidad o ambos.

Quinta: La tercerización de actividades en la gestión del mantenimiento, es una estrategia que debe ser revisada tomando en cuenta la actividad principal que realiza la empresa o el sector en el cual se realizan los trabajos. La decisión de tercerizar se realiza analizando si las tareas de mantenimiento son de función estratégica para las operaciones y si son competentes en la forma en que se realizan internamente.

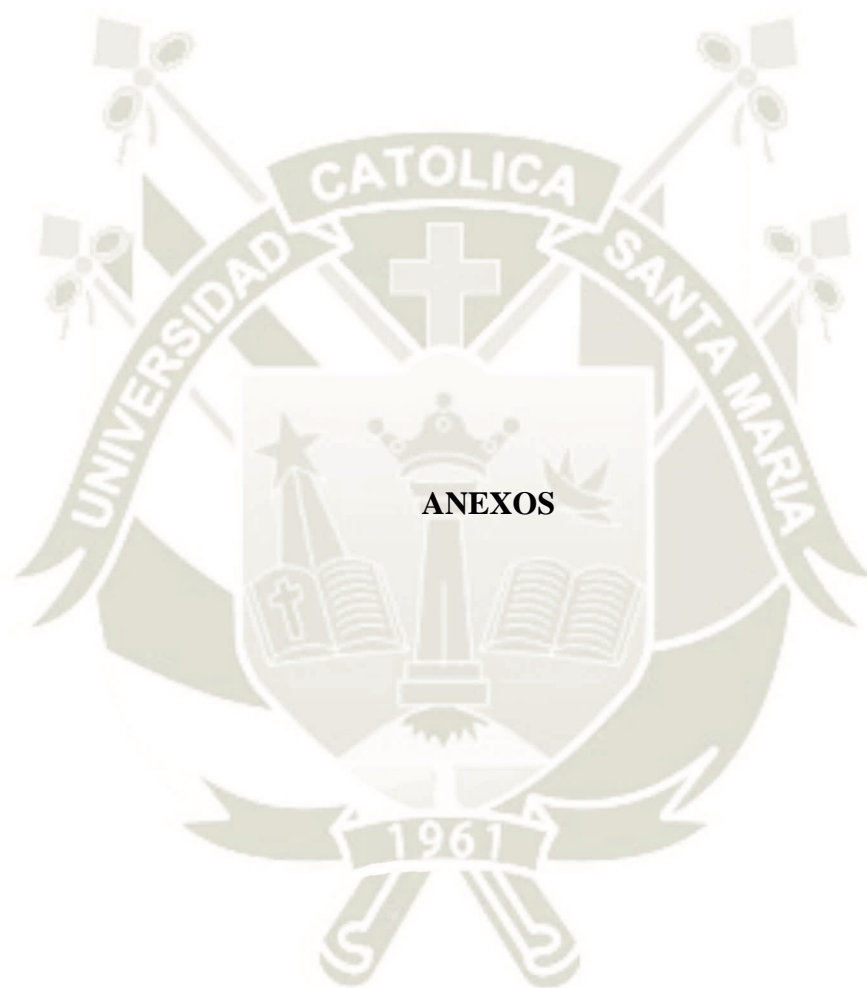
Sexta: Al incluir nuevas actividades en el área de mantenimiento, es importante definir la forma que se desarrollarán y como se enlazarán con la gestión en curso, además establecer indicadores clave de desempeño para medir el rendimiento de las actividades de acuerdo a los objetivos fijados. Determinar el tipo de mantenimiento más adecuado también es importante ya que se efectuará enfocado a resolver los problemas actuales.

REFERENCIA BIBLIOGRAFÍA

- Sotuyo, S. (2004). *Optimización integral de mantenimiento*. Buenos Aires, Argentina. Ellman, Sueiro y Asociados.
- Moubray, J. (1997). *Reliability-Centred Maintenance*. North Carolina, USA. Aladon LLC
- García, O. (2012). *Gestión moderna del mantenimiento industrial*. Bogotá, Colombia. Ediciones de la U.
- García, S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Madrid, España. Diaz de Santos.
- Gonzáles, F. (2007). *Contratación avanzada del mantenimiento*. Madrid, España. Diaz de Santos.
- Comité Europeo de Normalización - CEN (2017). *prEN 15341 Maintenance – Maintenance Key Performance Indicators*. Bruselas, Bélgica.
- Comité Europeo de Normalización - CEN (2017). *EN 13306 Maintenance – Maintenance Terminology*. Bruselas, Bélgica.
- Comité Europeo de Normalización - CEN (2016). *ISO/TR 12489 Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Reliability modelling and calculation of safety systems*. Bruselas, Bélgica.
- Organización Internacional de Estandarización - ISO (2016). *ISO 14224 Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*. Ginebra, Suiza.

- Sociedad de Ingenieros de Automoción - SAE International (1999). *SAE JA 1011 Evaluation Criteria of Reliability – Centered Maintenance (RCM) Processes*. Pensilvania; Míchigan, Estados Unidos.
- Sociedad de Ingenieros de Automoción – SAE International (2002). *SAE JA 1012 A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard*. Pensilvania; Míchigan, Estados Unidos.
- Salas, D. (2019). *Optimización del Proceso de Construcción de Diques de Relave mediante el Método en Tándem* [Tesis de pregrado]. Universidad Tecnológica del Perú. Perú.
- Villegas, J. (2016). *Propuesta de mejora en la gestión del área de mantenimiento, para la optimización del desempeño de la empresa manfer s.r.l. contratistas generales* [Tesis de pregrado]. Universidad Católica San Pablo, Perú.
- Barrientos, G. (2017). *Mejora de la gestión de mantenimiento de maquinaria pesada con la metodología AMEF* [Tesis pregrado]. Universidad San Ignacio de Loyola, Perú.
- Altmann, C. (2019). *La Gestión del Trabajo, el caso particular de los Contratistas de Mantenimiento*. Recuperado de https://smrp.org/Portals/0/2019%20Peru/Machio%2C%20Carolina%20Altmann%20Pa-per%20and%20PPT_1.pdf
- Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile – SERNAGEOMIN (2019). *Preguntas frecuentes sobre relaves*. Recuperado de <http://sitiohistorico.sernageomin.cl/pdf/mineria/relaves/Preguntas-frecuentes-sobre-relaves.pdf>

- Caterpillar (2007). *Manual del servicio especial de cadenas*. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/468526288/CTS-Handbook-Cadenas-Edicion-16-Espanol>
- Caterpillar (2015). *Tractor de cadenas D8T*. Recuperado de <http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C10777878>
- Caterpillar (2019). *Tractores topadores*. Recuperado de https://www.cat.com/es_MX/products/new/equipment/dozers/large-dozers/1000031708.html
- Gorriti, J. (2006). *Tractor de cadenas D8T*. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/221303620/Instruccion-Tecnica-Tractor-Oruga-d8t-Cat>
- García, R. (2015). *Tren de rodamiento en Bulldozers*. Recuperado de <https://www.maquinariaspesadas.org/blog/2238-curso-tren-rodaje-bulldozers-funciones-partes-desgaste-tecnologia>
- Chillitupa, L. (s.f.). *Inspección de seguridad y mantenimiento en Tractores CAT - MECATEC*. Recuperado de <https://dokumen.tips/documents/manual-bulldozer-tractores-oruga-caterpillar-seguridad-inspeccion-componentes.html>
- Perez, R. (2006). *El ciclo de mejora continua*. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/338815423/El-Ciclo-de-Mejora-Continua>



Anexo 2. Ajuste de cadenas en tractores D8T CAT

Ajustes de la cadena

Ajuste de la cadena

Una cadena ajustada incorrectamente puede costarle dinero tanto por el desgaste acelerado del tren de rodaje como por el tiempo muerto. Si la cadena está demasiado tensa, se producen cargas perjudiciales no productivas sobre el tren de rodaje y sus componentes.

Una cadena demasiado tensa acelera el desgaste y reduce la potencia en la barra de tiro del tractor. Los procedimientos de ajuste toman sólo algunos minutos y requieren de una sola persona.

Cuando ajuste la cadena de su máquina Caterpillar:

1. Ajuste siempre la cadena en el área de trabajo.
2. No trate de extraer ningún material compactado en la cadena.
3. Nunca afloje la válvula de alivio más de un giro. La grasa y el aceite están a presión muy alta y pueden penetrar su cuerpo causando lesiones graves.

Tractores con rueda motriz elevada

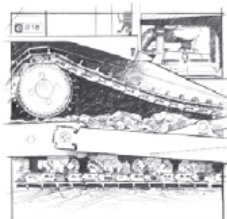
⚠ ADVERTENCIA

La grasa está a presión alta.

La grasa a presión que sale de la válvula de alivio puede penetrar su cuerpo y causar lesiones graves, e incluso la muerte.

No mire directamente a la válvula de alivio para ver si hay una fuga de grasa. Observe el cilindro de ajuste de cadenas o la cadena para ver si la misma está suelta.

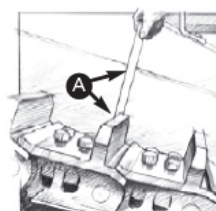
- 1 Mueva el tractor en avance y deje que se detenga solo sin aplicar los frenos. Asegúrese de que la comba esté entre la rueda guía trasera y la rueda motriz. Ponga el freno de estacionamiento y apague el motor. Ponga una cuerda tirante sobre las puntas de la garra desde la rueda motriz a la rueda guía delantera.



- 2 Para las máquinas sin rodillos superiores, mida la distancia "A" entre la cuerda y la punta de la garra que esté en el punto más bajo de la comba. Consulte la Tabla No. 1 para determinar la comba adecuada de cada modelo.

Para las máquinas con rodillos superiores, mida la distancia desde la cuerda a las puntas de la garra en dos puntos: en el punto más bajo de la comba "A," entre la rueda guía delantera y el rodillo superior; y entre el rodillo superior y la rueda motriz. Promedie las dos mediciones.

Consulte la Tabla No. 2 para determinar la comba adecuada de cada modelo.



- 3 Si la cadena requiere ajuste, ubique la válvula hidráulica de alivio y llenado en el bastidor de rodillos traseros y quite la tapa de inspección.

Usando una pistola de grasa manual, añada grasa al mecanismo de ajuste para tensar la cadena. Para aflojar la cadena, abra la válvula de alivio y permita que salga la grasa. Luego, cierre la válvula de alivio.



- 4 Opere la máquina en avance y retroceso y luego vuelva a medir la tensión de la cadena.

Para evitar el daño en los componentes internos del bastidor de rodillos, no permita que la longitud expuesta "B" del tubo exceda las dimensiones indicadas en la Tabla 3.



Anexo 3. Ajuste de cadenas en excavadoras hidráulicas CAT

Excavadoras - Ajuste de la cadena

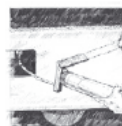
⚠ ADVERTENCIA

La grasa está a presión alta.

La grasa a presión que sale de la válvula de alivio puede penetrar su cuerpo y causar lesiones graves, e incluso la muerte.

No mire directamente a la válvula de alivio para ver si hay una fuga de grasa. Observe el cilindro de ajuste de cadenas o la cadena para ver si la misma está suelta.

4 Si la cadena está demasiado tensa, aflójela abriendo la válvula de alivio y permitiendo que la grasa escape.



5 Apriete la cadena añadiendo grasa en la válvula hidráulica de alivio y llenado. Desplácese en avance y retroceso para equilibrar la tensión de la cadena. Luego, revise el ajuste.

1 Opere la máquina en el sentido de las ruedas guía.



2 Deténgase de modo que quede un pasador directamente sobre el rodillo superior delantero. Estacione la máquina y apague el motor.



3 Coloque una cuerda tirante o regla recta en la parte superior de las garras entre el rodillo superior delantero y la rueda guía.

Mida la distancia del borde recto a la punta de la garra en el punto más bajo de la comba, a mitad de distancia entre el rodillo superior delantero y la rueda guía.

Consulte la tabla de la derecha para determinar la comba adecuada de cada modelo.

Comba adecuada de la cadena

Modelo	Mínimo	Objetivo	Máxima
Todas la excavadoras de la serie de la Familia 300	1,6 pulg (40 mm)	1,85 pulg (47,5 mm)	2,1 pulg (55 mm)
Todas la excavadoras de la serie de la Familia 200	1,0 pulg (25 mm)	1,3 pulg (32,5 mm)	1,5 pulg (40 mm)
Todas la excavadoras de la serie de la Familia E	1,6 pulg (40 mm)	1,85 pulg (47,5 mm)	2,1 pulg (55 mm)
5080, 5090B	1,6 pulg (40 mm)	1,85 pulg (47,5 mm)	2,1 pulg (55 mm)

Activar

Anexo 4. Comba adecuada para cadenas en tractores CAT

Comba para tractores en condiciones de trabajo normal para tractores con rodillos superiores

Modelo	Mínimo	Objetivo	Máximo
D4H, D5M, D5N, 561H, 561M, 561N	1,0 pulg (25 mm)	1,4 pulg (35 mm)	1,8 pulg (45 mm)
D5H, D6M, D6N	1,8 pulg (45 mm)	2,2 pulg (55 mm)	2,6 pulg (65 mm)
D6H, D6R	1,8 pulg (45 mm)	2,2 pulg (55 mm)	2,6 pulg (65 mm)
D7H, D7R, 572R	2,2 pulg (55 mm)	2,6 pulg (65 mm)	3,0 pulg (75 mm)
D8L, D8N, D8R, 578, 583R	2,2 pulg (55 mm)	2,6 pulg (65 mm)	3,0 pulg (75 mm)
D9N, D9R	2,2 pulg (55 mm)	2,6 pulg (65 mm)	3,0 pulg (75 mm)
D9L, D10N, D10R, 589	2,4 pulg (60 mm)	2,8 pulg (70 mm)	3,2 pulg (80 mm)
D10, D11N, D11R	2,6 pulg (65 mm)	3,0 pulg (75 mm)	3,4 pulg (85 mm)



Anexo 5. Identificación del eslabón en tractores CAT

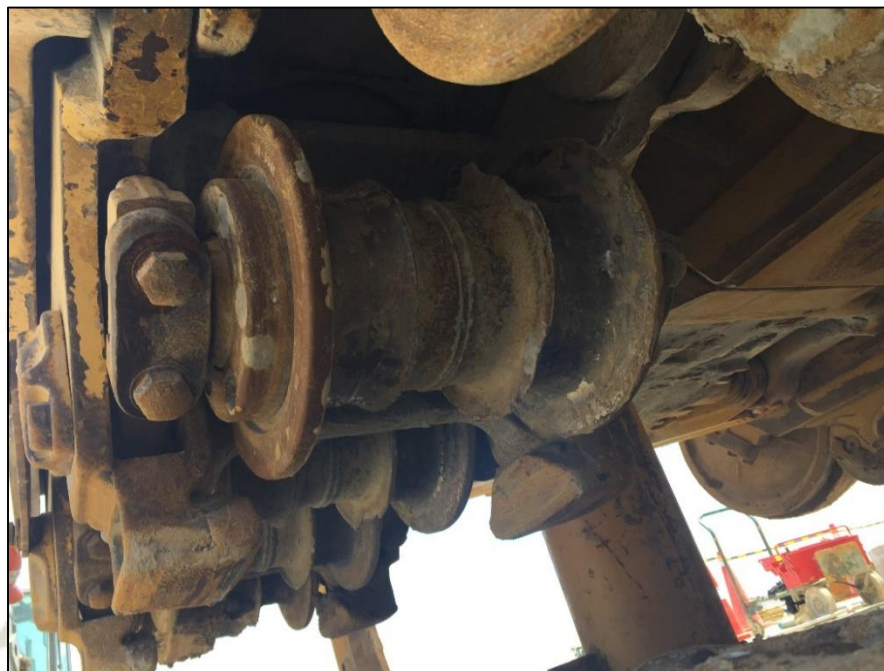
Modelo	Paso	Número de pieza del eslabón	Páginas de las tablas de desgaste
D4H D5M, D5N 561H, 561M, 561N	6,75 pulg (171,5 mm)	235-2514 108-0947 y 48 6Y-9261 y 62	74-98
D5H D6M, D6N 517	7,50 pulg (190,5 mm)	235-2501 229-6909 y 10 106-1625 y 26 6Y-9267 y 68	99-122
D6H, D6R 527	8,00 pulg (203,2 mm)	234-9699 228-2735 y 36 195-6515 y 16 8E-7405 y 06 8E-2355 y 56	123-149
D7H, D7R 572R	8,50 pulg (215,9 mm)	225-4789 y 90 255-4789 y 90 6I-9239 y 40 9G-2417 y 18	151-173
D8L, D8N D8R, D8T 578, 583R, 583T, 587T	8,50 pulg (215,9 mm)	8E-4505 y 06 8E-4513 y 14	174-187
D9N, D9R D9T	9,45 pulg (240 mm)	7T-2275 y 26 9W-2743 y 44	188-197
D9L 589	9,00 pulg (228,6 mm)	7T-7629 y 30 7T-4137 y 38	198-205
D10N, D10R D10T	10,25 pulg (260,4 mm)	7T-0715 y 16 9W-5265 y 66 9W-5933 y 34	206-213
D10	10,25 pulg (260,4 mm)	9W-5723 y 24	214-221
D11N, D11R	12,50 pulg (317,5 mm)	200-6325 y 26 6T-8049 y 50	222-230

Anexo 6. Código CTS de computador para tren de rodamiento CAT

Modelo	Código de tren de rodaje	Descripción
Tractores de cadenas		
D8T	C185	Tren de rodaje convencional
D8T	C1855	Tren de rodaje SystemOne - Eslabón 260-0300
D9L	C194	Todos
D9N	C195	Todos
D9R	C196	Todos
D10	C207	Todos
D10N	C208	Todos
D10R	C209	Todos
D11N	C220	Eslabones 6T-8049-50
D11N	C2203	Eslabones 200-6325-26 optativos y rodillos grandes de una sola pestaña
D11R	C221	Eslabones 6T-8049-50
D11R	C2213	Eslabones 200-6325-26 optativos y rodillos grandes de una sola pestaña

Anexo 7. Modos de falla y condiciones de trabajo de los equipos en la construcción del tranque de relaves

Rodillos desgastados en tractor D8T CAT





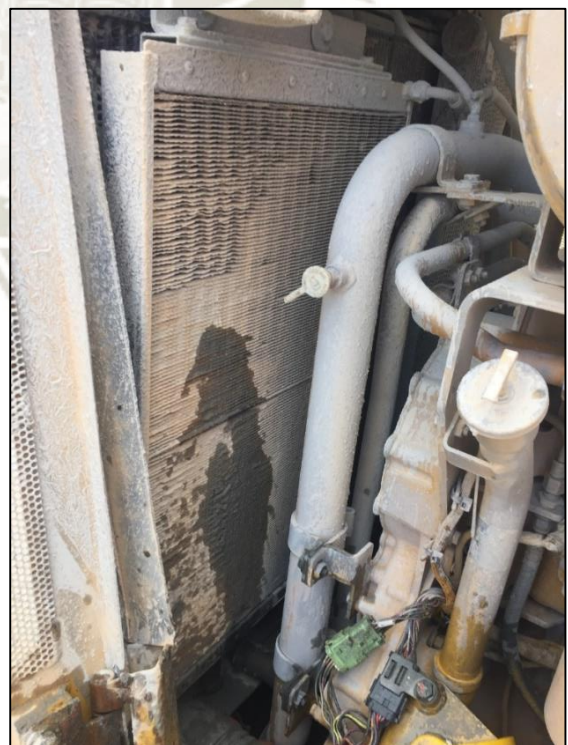
Eslabones de cadena desgastados en Tractor D8T CAT

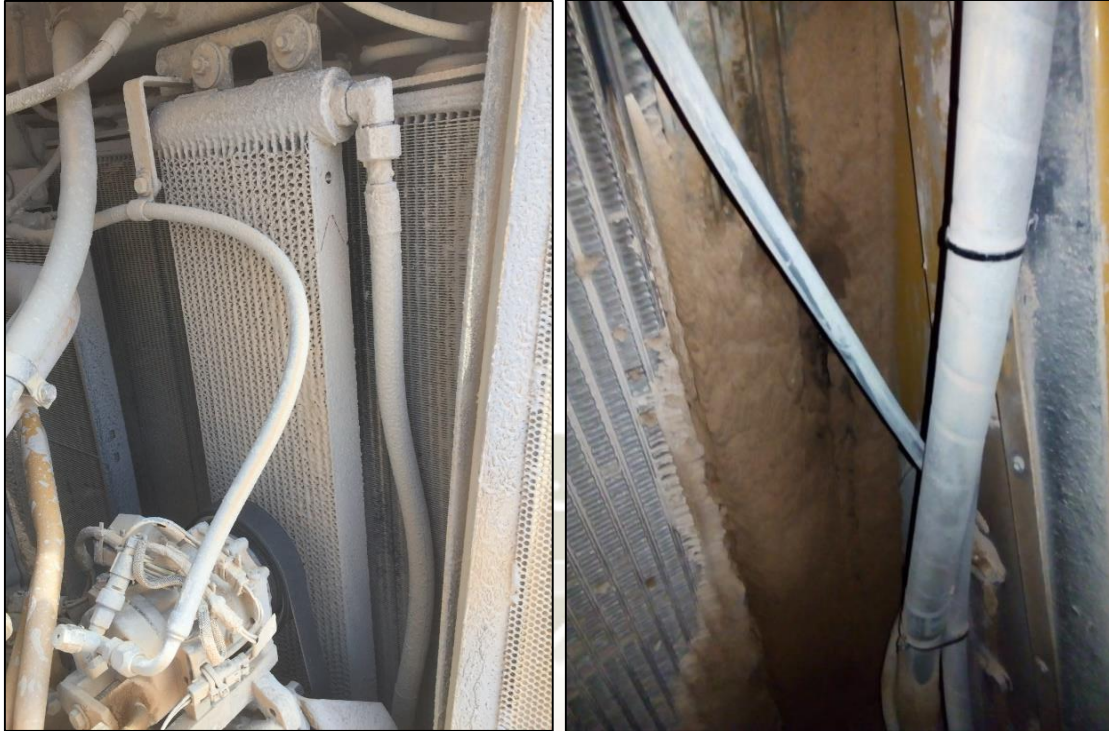


Conjunto desgastado de sprockets en mando final y relave acumulado en el bastidor de cadenas del tractor D8T CAT



Relave acumulado en el sistema de refrigeración del tractor D8T CAT





Tractor D8T CAT trabajando en tierra



Cubierta de acceso a filtro de aire con polvo en tractor D8T CAT



Excavadora 326D2L CAT trabajando en tierra



Tractor D8T CAT trabajando en canchas de relave seco



Tractor D8T CAT trabajando en un cancha de relave húmedo



Tractor D8T CAT con cadena rota en operaciones (bujes desgastados)



Anexo 8. Términos y definiciones de confiabilidad ISO/TR 12489:2016

3.1.27

mean up time

MUT

expectation of the up time

Note 1 to entry: See [Figure 3](#) and also ISO 14224[45] or IEC 60050-191[44] for definitions of up time and down time.

3.1.28

mean down time

MDT

expectation of the down time

Note 1 to entry: See [Figure 3](#) and also ISO 14224[45] or IEC 60050-191[44] for definitions of up time and down time.

[SOURCE: IEC 60050 -191]

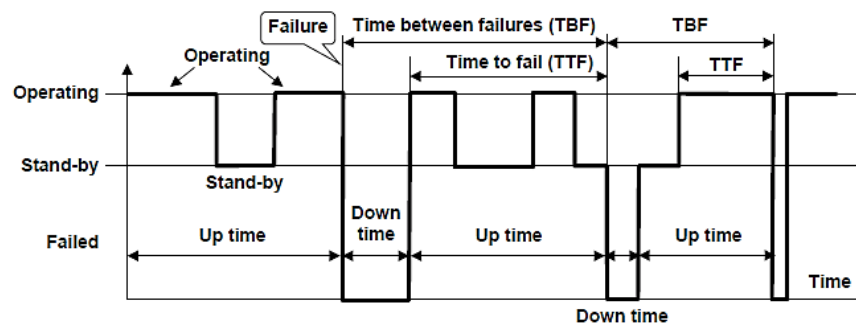


Figure 3 — Illustration of the general behaviour of an item over its lifetime

3.1.29

mean time to failure

MTTF

expected time before the item fails

Note 1 to entry: The MTTF is classically used to describe the time to failure for a non-repairable item or to the first failure for a repairable item. When the item is as good as new after a repair, it is also valid for the further failures (see [Figure 4](#)).

Note 2 to entry: In the cases illustrated by [Figure 4](#), the MTTF may be calculated by the following formulae:

$$MTTF = \int_0^{\infty} f(t)t.dt = \int_0^{\infty} R(t).dt$$

Note 3 to entry: The following relationship holds when the failure rate is constant: $MTTF = 1/\lambda$.

Note 4 to entry: In the case illustrated by [Figure 3](#) where operating and stand-by failures are mixed, the formulae described in Note 2 to entry are no longer valid.

Note 5 to entry: The MTTF should not be mixed up with the design life time of the item.

Note 6 to entry: Sometimes it may be more understandable to express lifetime in probability of failure (i.e. unreliability, see [3.1.9](#)) during a certain lifespan.

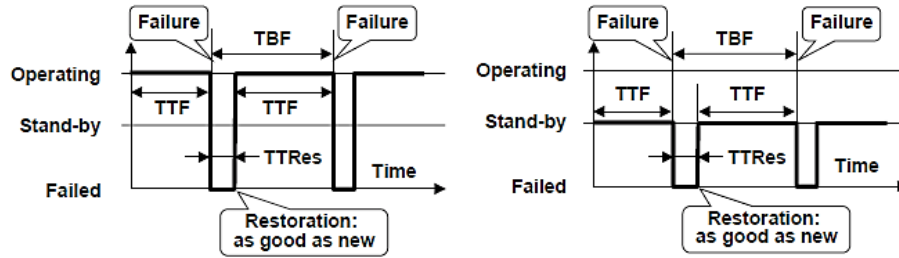


Figure 4 — Particular cases of the behaviour of an item over its lifetime

3.1.30
mean time between failures
MTBF

expected time between successive failures of a repairable item

Note 1 to entry: In the cases illustrated in Figure 4, the MTBF is linked with MTTF and MTTRes by the following relationship: $MTBF = MTTF + MTTRes$. More generally It is also linked to the MUT and MDT by $MTBF = MUT + MDT$.

Note 2 to entry: The acronym MTBF is sometimes defined as the mean *operating* time between failures (e.g. in IEC 61508 [2]). This is not at all the same and, in this case, the formula described in Note 1 to entry is no longer valid. This is very confusing, therefore the traditional definition of the MTBF is retained in this Technical Report.

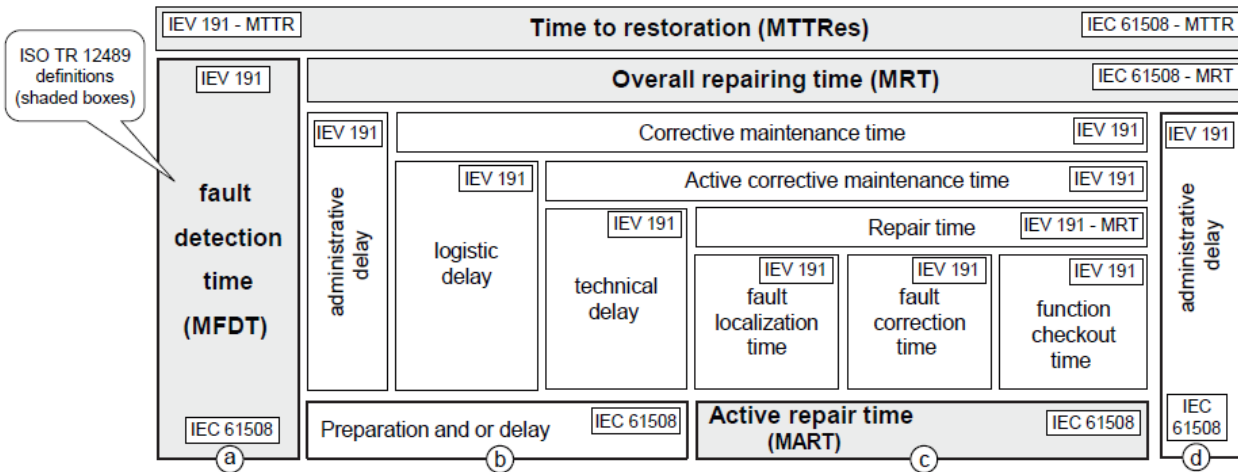


Figure 5 — Repair time taxonomies as per IEC 61508 [2], IEC 61508 [2] and ISO/TR 12489

3.1.31 mean time to repair MTTR

expected time to achieve the repair of a failed item

Note 1 to entry: This term MTTR is used in ISO 14224^[15] and ISO 20815^[16] where the fault detection time is not really considered: ISO 14224^[15] deals with detected faults (in fact, the actual time spent to detect the fault is never known and cannot be collected); ISO 20815^[16] deals mainly with immediately revealed failure where the time spent to detect the faults is close to 0 (i.e. negligible). As the fault detection time is very important for the purpose of this Technical Report there is a need to clearly distinguish between the two following times (cf. [Figure 5](#)):

- 1) the time elapsing from the actual occurrence of the failure of an item to its detection (cf. [3.1.35](#), MFDT);
- 2) the time elapsing from the detection of the failure of an item to the restoration of its function (cf. [3.1.33](#), MRT).

Note 2 to entry: The acronym MTTR is defined as the mean time to restore in the IEC 60500-191^[44] or in the IEC 61508^[2]. This is not the same as in ISO 14224^[15] or ISO 20815^[16]. Therefore, in order to avoid any mixed-up, the acronym MTTRes is used in this Technical Report instead of MTTR (cf. [3.1.32](#)).

3.1.32 mean time to restoration MTTRes

expected time to achieve the following actions: (see [Figure 5](#), [Figure 6](#) and [Figure 7](#)):

- the time to detect the failure a; and,
- the time spent before starting the repair b; and,
- the effective time to repair c; and,
- the time before the component is made available to be put back into operation d

Note 1 to entry: [Figure 5](#) illustrates how the times a, b, c and d defined in the IEC 61508^[2] standard are linked to the delays defined in the IEC 60050-191^[44] standard. Time b starts at the end of a; time c starts at the end of b; time d starts at the end of c.

Note 2 to entry: [Figure 5](#), [Figure 6](#) and [Figure 7](#) can be used to understand the differences between the definitions of MTTRes, MRT and MART used in this Technical Report.

Note 3 to entry: The MTTRes is linked to the MRT and the MFDT by the following formula: $MTTRes = MFDT + MRT$.

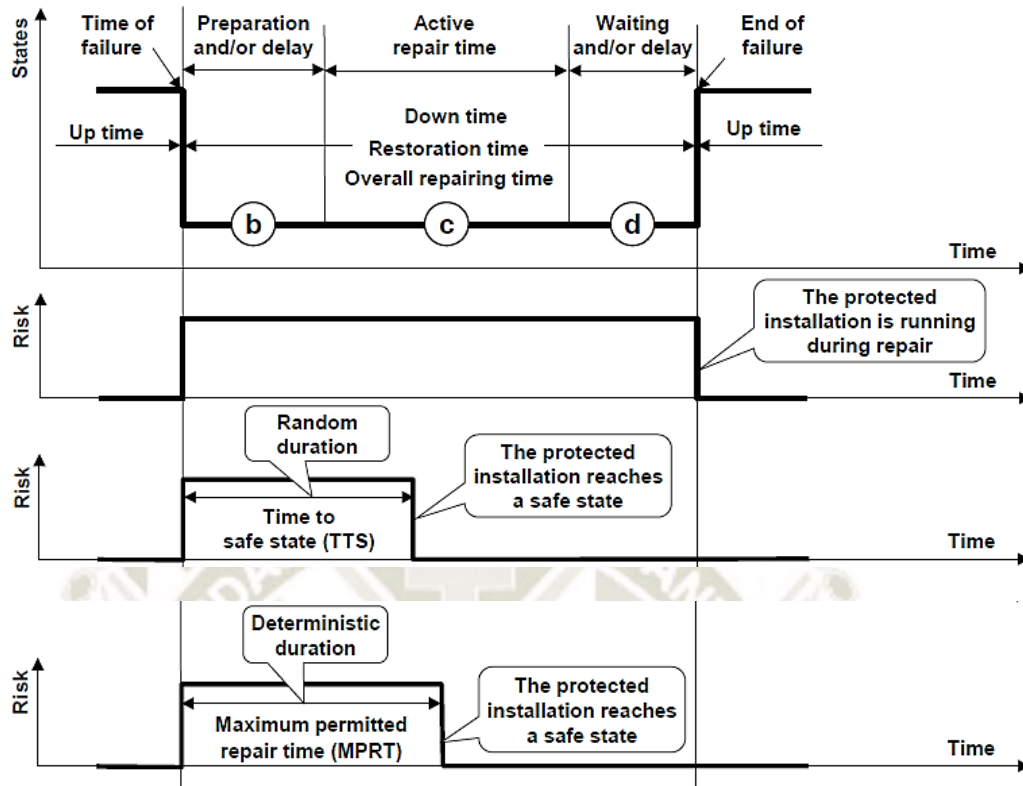


Figure 6 — Illustration of the restoration time and of the risk exposure for immediately revealed failures of an item

3.1.33

MRT

mean overall repairing time

expected time to achieve the following actions:

- the time spent before starting the repair b; and,
- the effective time to repair c; and,
- the time before the component is made available to be is put back into operation d

Note 1 to entry: See [Figure 5](#), [Figure 6](#) and [Figure 7](#).

Note 2 to entry: The terms “repair”, “repairable”, “repaired” used in this Technical Report, unless otherwise specified, are related to the overall repairing time (see [Figure 5](#)).

Note 3 to entry: When a safety system operating in demand mode is faulty, the risk disappears as soon as the protected installation is placed in a safe state (e.g. stopped). In this case (see [Figure 6](#) and [Figure 7](#)) the MTTS replaces the MRT (see [3.1.36](#)) with regard to the probabilistic calculations.

Note 4 to entry: This definition is in line with IEC 61508[2] but not with IEC 60050-191.[4]

3.1.34
mean active repair time
MART
expected active repair time

Note 1 to entry: The MART is the expected effective time to repair c , (see [Figure 5](#), [Figure 6](#) and [Figure 7](#)).

3.1.35
mean fault detection time
MFDT
expected time needed to detect a fault

Note 1 to entry: The MFDT is the time a) in [Figure 5](#), [Figure 6](#) and [Figure 7](#).

Note 2 to entry: The MFDT is equal to zero for immediately revealed failure; (see [Figure 6](#)) generally negligible for quickly detected failures; (see [Figure 6](#)) depending of the test policy for the hidden failures. In this case it may be the main part of the item down time (see [Figure 7](#)).

Note 3 to entry: The MFDT used in this Technical Report should not be mixed-up with the mean fractional dead time which has the same acronym.

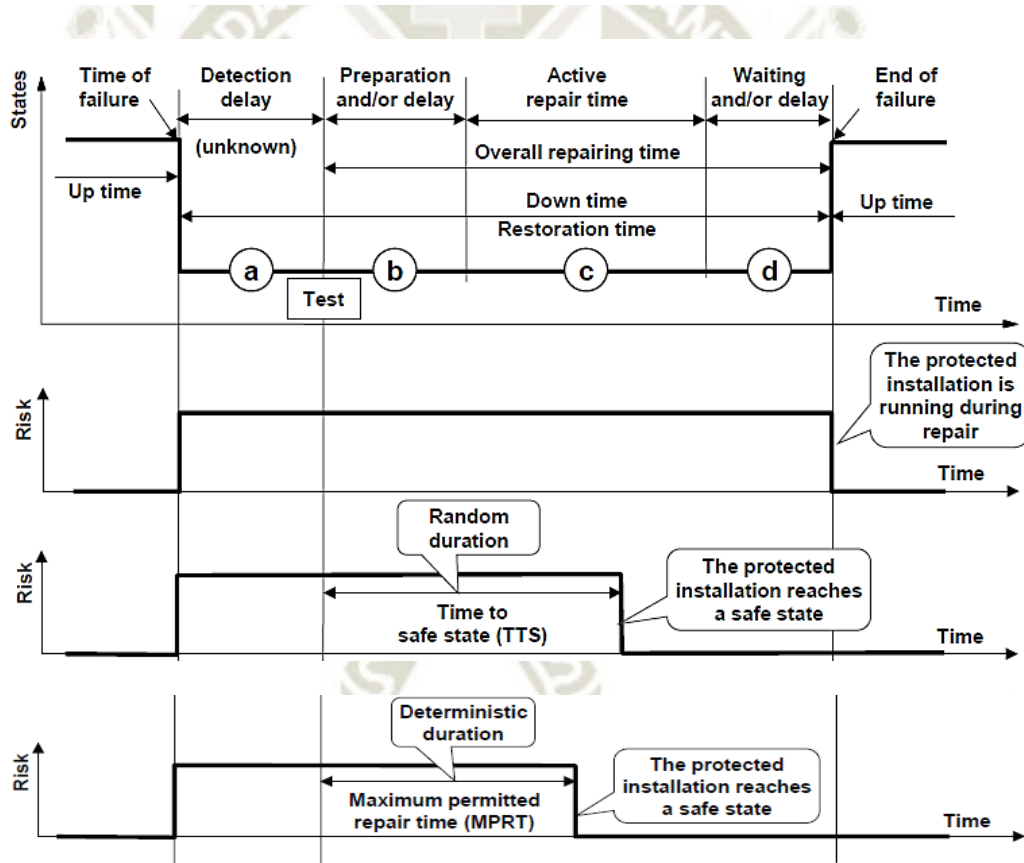
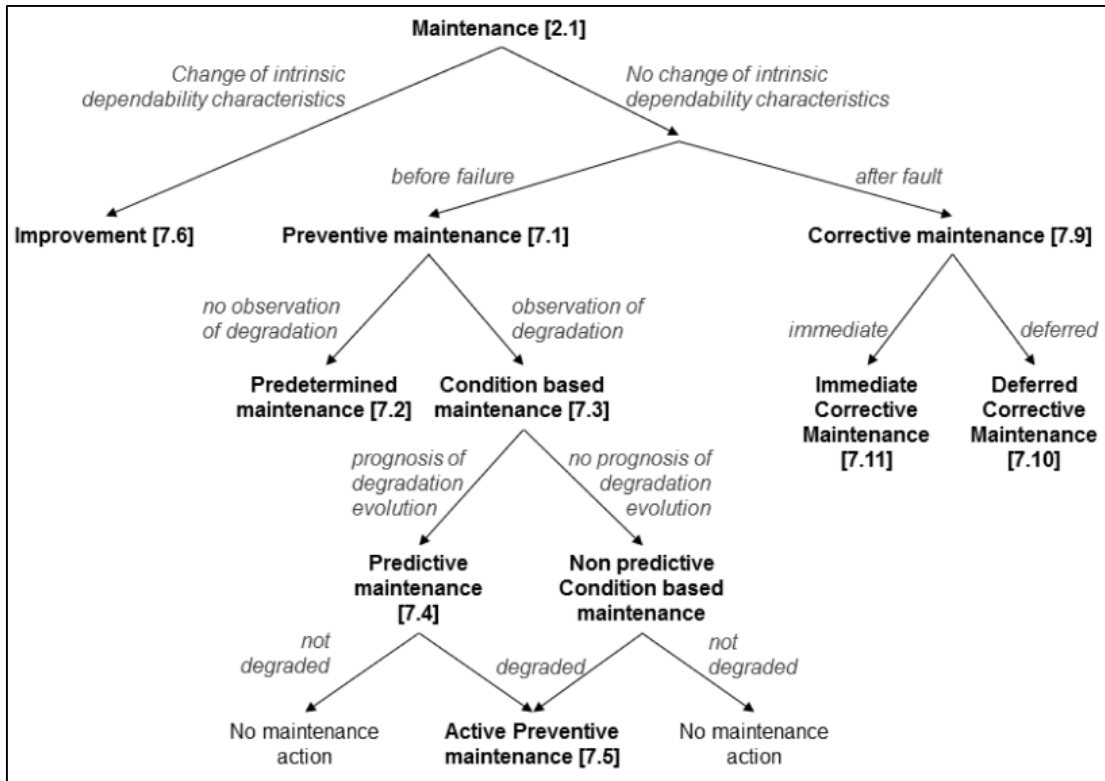
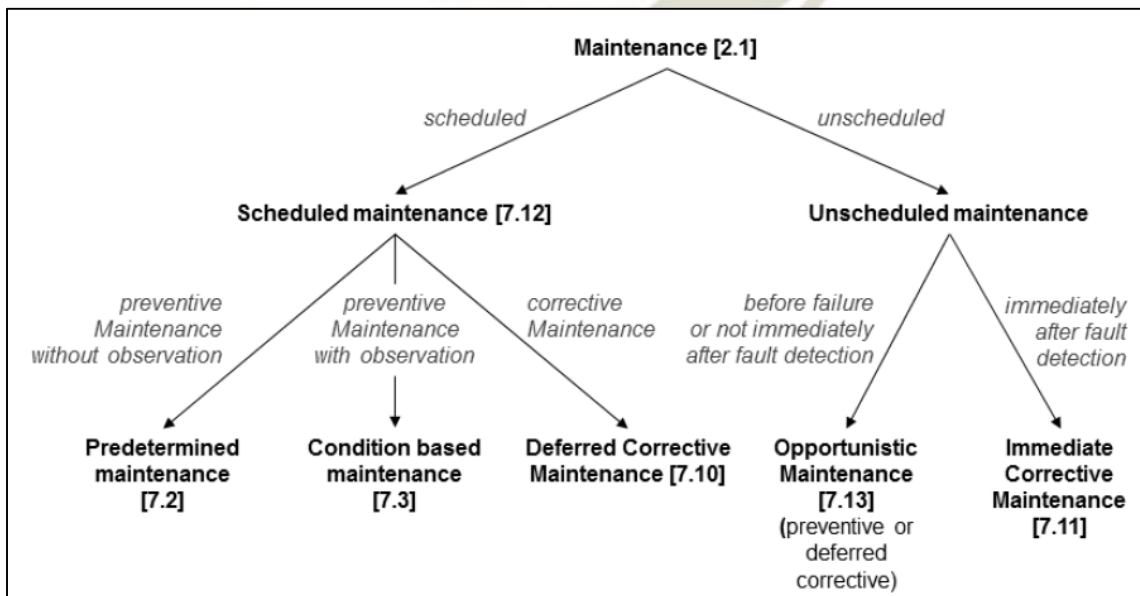


Figure 7 — Illustration of the restoration time and of the risk exposure for the hidden failures of an item

Anexo 9. Tipos de mantenimiento (EN 13306:2017)

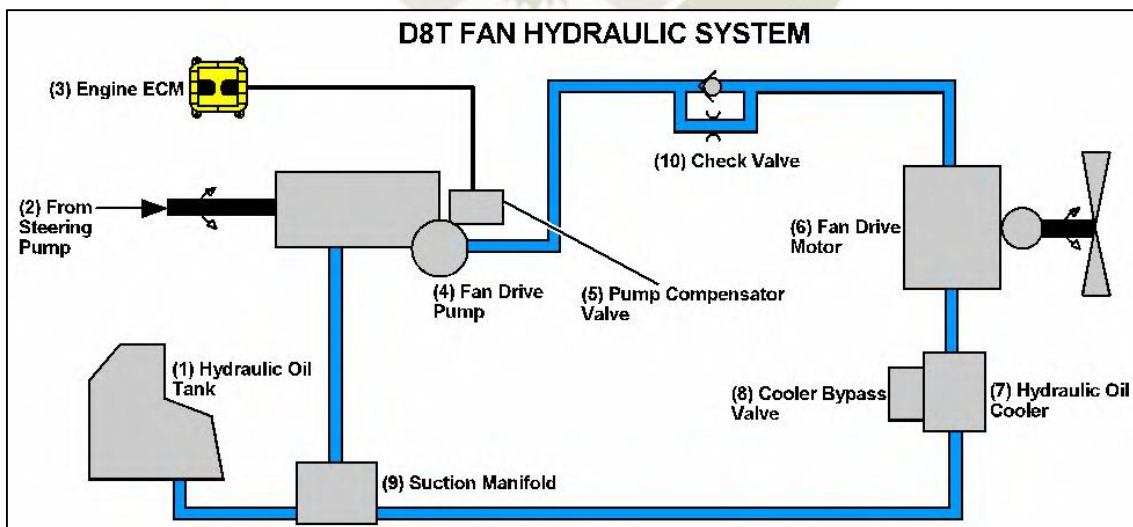
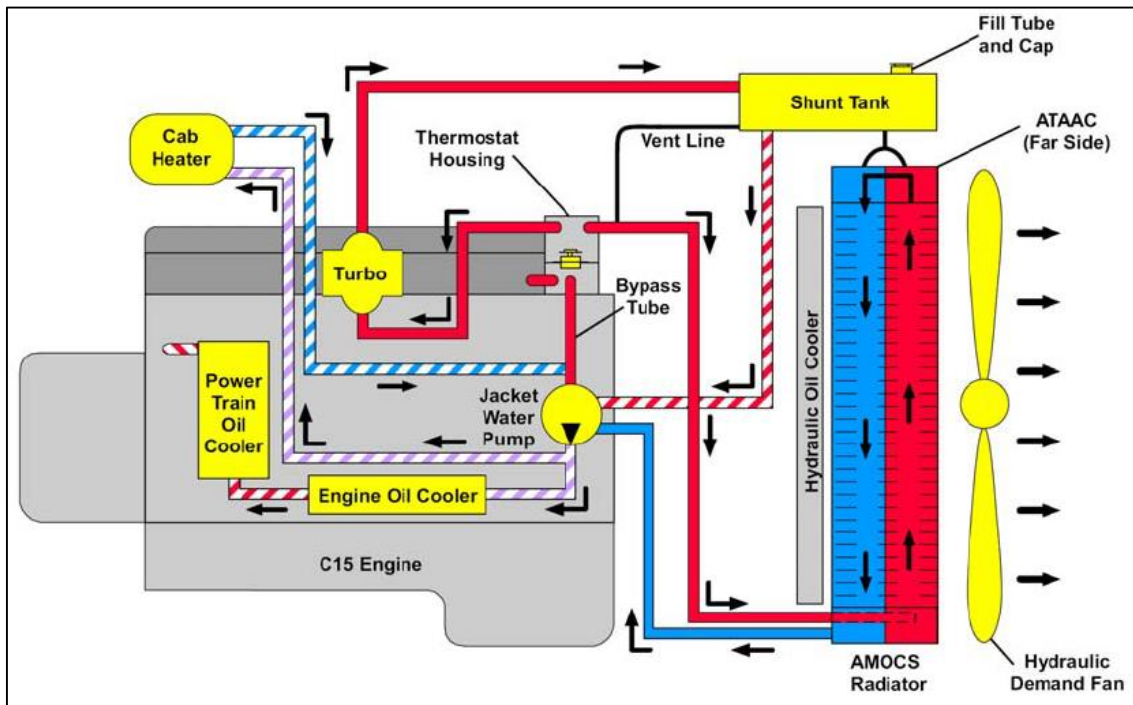


Anexo 10. Mantenimiento programado versus no programado (EN 13306:2017)

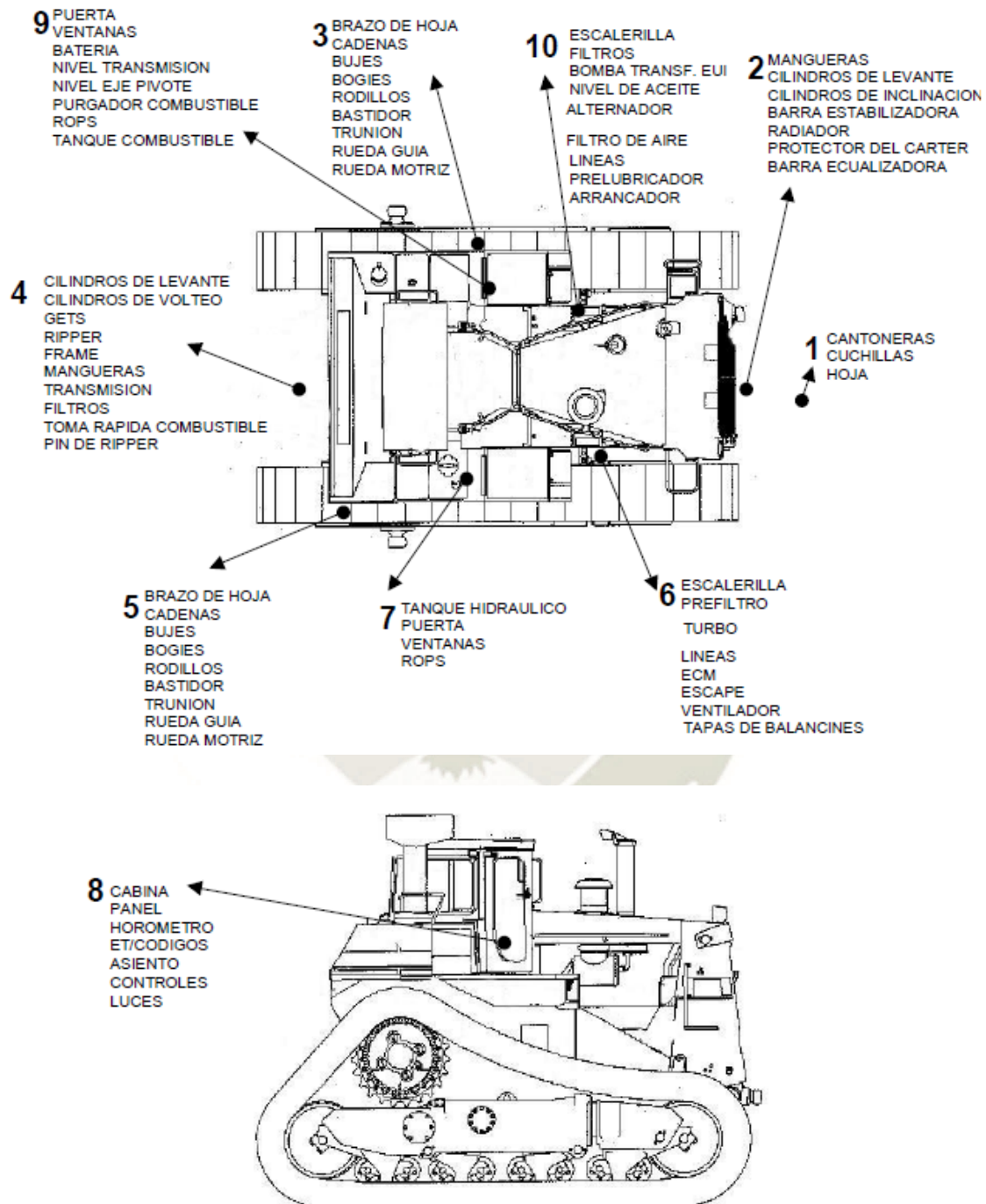


Anexo 11. Refrigeración en motor, sistema hidráulico y tren de potencia del tractor D8T

CAT



Anexo 12. Hoja de ruta de inspección en Tractor D8T CAT



Anexo 13. Hoja de ruta de inspección en Excavadoras Hidráulicas CAT

