

Propuesta de implementación de un sistema de gestión de mantenimiento para la flota de cargadores frontales 950H en una empresa constructora empleando la metodología del mantenimiento basado en confiabilidad o RCM

Item Type	info:eu-repo/semantics/bachelorThesis
Authors	Huaman Rodriguez, David Enrique; Chura Borda, Erick Paul
Publisher	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)
Rights	info:eu-repo/semantics/openAccess
Download date	15/09/2025 18:37:32
Item License	http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Link to Item	http://hdl.handle.net/10757/671898



UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Propuesta de implementación de un sistema de gestión de mantenimiento para la flota de cargadores frontales 950H en una empresa constructora empleando la metodología del mantenimiento basado en confiabilidad o RCM

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el título profesional de Ingeniero Industrial

AUTOR(ES)

Huaman Rodriguez, David Enrique
Chura Borda, Erick Paul

0009-0006-9836-4858
0009-0001-0791-2841

ASESOR(ES)

Sáenz Morón, Martín Joaquín

0000-0003-4274-0456

Lima, 15 de noviembre de 2023

Dedicatoria

El presente trabajo está dedicado de manera especial a nuestra familia por haber sido nuestro apoyo incondicional en cada etapa de nuestra carrera técnica y universitaria. A todas las personas especial que Dios y la vida nos puso en el camino, aportando en nuestra formación profesional y como ser humano.

Resumen

El presente proyecto se desarrolla en una de las empresas líderes en el sector de la construcción, la compañía Conalvías (Perú).

Actualmente, Conalvías no ha sido ajena a los problemas de gestión mantenimiento. En este sentido, la materia de investigación del presente proyecto estudia: “Implementar un Sistema de gestión de mantenimiento para la flota de cargadores 950H CAT empleando RCM, aumentado la disponibilidad en 8% y disminuir los costos de mantenimiento en 10% en la obra de Construcción de carreteras Canta – Huallay”.

El proyecto se logró utilizando distintas herramientas de Ingeniería Industrial, permitiendo el análisis y la selección técnico – económica de la propuesta de solución óptima para la empresa.

Finalmente se demuestra, a través de la implementación y su análisis financiero, que el proyecto y a propuesta de solución fue viable y rentable.

Palabras clave: Mantenimiento centrado en confiabilidad; gestión de mantenimiento; disponibilidad; confiabilidad.

Proposal for the implementation of a maintenance management system for the fleet of 950H front loaders in a construction company using the reliability-based maintenance or RCM methodology

Abstract

This project is developed in one of the leading companies in the construction sector, the Conalvías company (Peru).

Currently, Conalvías has not been immune to maintenance management problems. In this sense, the research subject of this project studies: “Implementing a maintenance management system for the fleet of CAT 950H loaders using RCM, increased availability by 8% and decreased maintenance costs by 10% at the construction site. Construction of Canta – Huallay roads.”

The project was achieved using different Industrial Engineering tools, allowing the technical-economic analysis and selection of the optimal solution proposal for the company.

Finally, it is demonstrated, through the implementation and its financial analysis, that the project and a proposed solution were viable and profitable.

Keywords: Maintenance focused on reliability; maintenance management; availability; reliability.

u201318603_David Enrique Huaman Rodriguez_Propuesta de implementación de un sistema de gestión de mantenimiento para la flota de cargadores frontales 950H en una empresa constructora empleando la

INFORME DE ORIGINALIDAD

5%	5%	0%	3%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas Trabajo del estudiante	2%
2	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	1%
4	documentop.com Fuente de Internet	<1%
5	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%
6	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%

Tabla de contenido

1. Capítulo I – ANTECEDENTES DEL PROYECTO	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Marco teórico.....	3
1.2.1 Curva de confiabilidad.....	3
1.2.2 Patrón de las fallas.....	3
1.2.3 Modelos básicos de confiabilidad.....	5
2. PROBLEMÁTICA DE LA ORGANIZACIÓN.....	6
2.1 Descripción de la Organización.....	6
2.1.1 Descripción de la empresa.....	6
2.1.2 Cadena de Valor	6
2.1.3 Mapa de procesos	6
2.1.4 Diagrama SIPOC de Mantenimiento	7
2.1.5 Mapa Estratégico de Mantenimiento	8
2.1.6 Flujograma del proceso de Mantenimiento	8
2.2 Identificación del Problema.....	9
2.2.1 Impacto Económico.....	9
2.2.2 Indicadores de Mantenimiento	10
2.3 Planteamiento de objetivos.....	14
2.3.1 Objetivo General.....	14
2.3.2 Objetivos específicos.....	14
3. Capítulo III – PROPUESTA DE INGENIERÍA	15
3.1 Vinculación de causa con la solución.....	15
3.2 Diseño detallado de la Solución	16
3.2.1 Flujograma del proceso de atención de mantenimientos.....	16
3.2.2 Pasos para la implementación de RCM.....	17
3.3 Diseño de indicadores.....	19
3.4 Consideraciones de la implementación	19
3.4.1 Cronograma de ejecución de RCM	19
3.4.2 Presupuesto para la ejecución del proyecto	21
4. Resultado del Proyecto.....	25

4.1	Validación funcional.....	25
4.2	Evaluación del Impacto Económico	27
4.2.1	Flujo de caja.....	27
4.2.2	Análisis Financiero Indicadores de Rentabilidad	28
4.3	Evaluación de impactos no económicos	29
4.3.1	Reducción de Accidentes Laborales.....	29
4.3.2	Personal Motivado.....	29
4.3.3	Mejora de las Relaciones con el Cliente Interno	30
4.3.4	Reducción de Multas por Retrasos	30
5.	Conclusiones y recomendaciones	31
5.1	Conclusiones.....	31
5.2	Recomendaciones	31
	Referencias	32
	Anexo(s)	33

Lista de Tablas

Tabla 1	<i>Gastos reales y presupuestados de mantenimiento y/o reparación</i>	10
Tabla 2	<i>Comparativo con el Benchmarking de Mantenimiento</i>	10
Tabla 3	<i>Evaluación de las causas según la tabla de jerarquización y su nivel de impacto</i>	11
Tabla 4	<i>Disponibilidad mecánica, MTTR y MTBF</i>	19
Tabla 5	<i>Resultado de indicadores</i>	19
Tabla 6	<i>Presupuesto personal de mantenimiento</i>	21
Tabla 7	<i>Presupuesto Implementación de recursos</i>	22
Tabla 8	<i>Costos de servicios</i>	23
Tabla 9	<i>Costo de materiales y herramienta, capacitación y subcontratación.</i>	24
Tabla 10	<i>Gastos administrativos post- proyecto</i>	24
Tabla 11	<i>Disponibilidad 2018 - 2022</i>	25
Tabla 12	<i>MTBF 2018 - 2022</i>	26
Tabla 13	<i>MTTR 2018 - 2022</i>	26
Tabla 14	<i>Estado de resultado</i>	27
Tabla 15	<i>Flujo de caja del proyecto</i>	28
Tabla 16	<i>Resultados de TIR, VAN, B/C, PAYBACK</i>	29
Tabla 17	<i>Medición del KPI en 2018 y 2022</i>	30

Lista de Figuras

Figura 1	<i>Contribución a la construcción global crecimiento 2020-2030</i>	1
Figura 2	<i>PBI global y PBI de la construcción: 2017 - 2022</i>	2
Figura 3	<i>Curva de la bañera</i>	4
Figura 4	<i>Tiempo promedio de las fallas</i>	4
Figura 5	<i>Tiempo promedio entre las fallas</i>	5
Figura 6	<i>Cadena de valor – 2022</i>	6
Figura 7	<i>Mapa de procesos-2022</i>	6
Figura 8	<i>SIPOC de mantenimiento</i>	7
Figura 9	<i>Mapa Estratégico de Mantenimiento -2022</i>	8
Figura 10	<i>Flujograma del proceso de Mantenimiento -2018</i>	9
Figura 11	<i>Diagrama de Ishikawa</i>	12
Figura 12	<i>Diagrama de Pareto</i>	13
Figura 13	<i>Diagrama del árbol de motivos y causas del problema</i>	15
Figura 14	<i>Flujograma del proceso de Mantenimiento -2022</i>	16
Figura 15	<i>Funciones generales de los equipos de trabajo</i>	17
Figura 16	<i>Pasos para la implementación del RCM</i>	18
Figura 17	<i>Cronograma de ejecución de RCM</i>	20

1. Capítulo I – ANTECEDENTES DEL PROYECTO

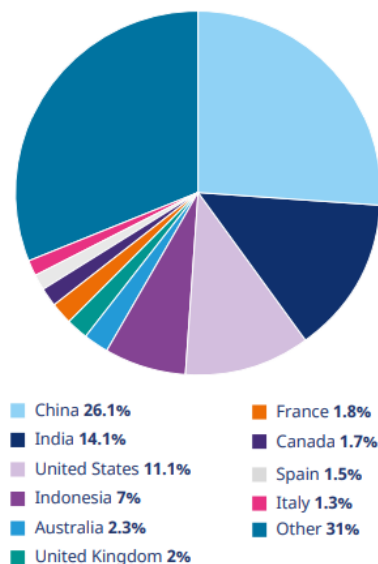
1.1 Antecedentes

Marsh McLennan (2021) señala que, en 2021, el mundo empezó a recuperarse del problema sanitario, mientras que el sector de la construcción experimentó un notable avance con un crecimiento del 6.6%.

Adicionalmente, debemos tener en cuenta que países como la India, Indonesia, China y Estados Unidos representan el 58.3% del crecimiento en el mundo (Marsh McLennan, 2021) como se muestra en la figura 1 en la contribución global de los países más importantes, siendo estos países el motor fundamental del globo para el abastecimiento de insumos, materiales y equipos para el resto del mundo en el sector de la construcción.

Figura 1

Contribución a la construcción global crecimiento 2020-2030

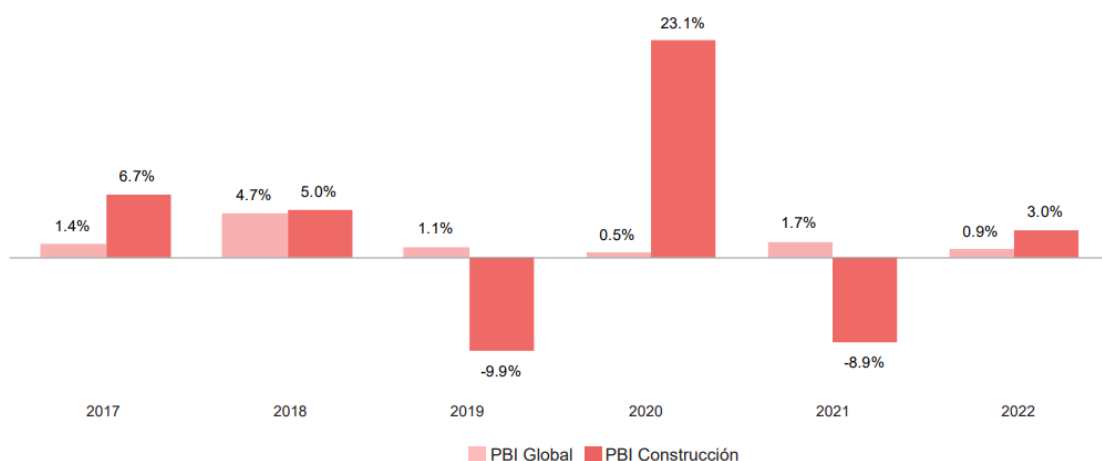


Nota. De “Informe sobre el futuro de la construcción”, por Marsh McLennan, 2021 (https://www.marsh.com/content/dam/marsh/Documents/PDF/it/it/The_Future_of_Construction_ExecSum_2021.pdf).

En el 2022, este sector de la construcción en Perú logró finalizar con un crecimiento del 3% con respecto al 2021, según datos de la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO, 2023), como se ilustra en la Figura 2.

Figura 2

PBI global y PBI de la construcción: 2017 - 2022



Nota. De “¿Cómo afrontar los desafíos de un país en emergencia permanente?”, por el Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2023

http://www.construccioneindustria.com/iec/descarga/IEC62_0223.pdf.

A lo largo de estos últimos años, el sector de la construcción en nuestro país ha tenido muchas variantes que están relacionadas con el entorno político, social, sanitario (pandemia) y una serie de variables que el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2023) evalúa. Estas variantes han impactado en el PBI nacional con la caída de las ventas de viviendas en un 4% en el primer bimestre del 2023 (CAPECO, 2023) por motivos del alza de los precios al consumidor e índice de precios de materiales de construcción (CAPECO, 2023).

Finalmente, el sector de la construcción es uno de los motores más relevantes en el globo y en nuestro país, ésta ha presentado un desarrollo importante en los últimos años,

incluso después de la pandemia, y a pesar de los retos político social que tiene que enfrentar deben asegurar su desarrollo y sostenibilidad a largo plazo.

Hoy en día tener un modelo de gestión eficiente en las empresas es fundamental para la competitividad con empresas de talla mundial, además de beneficiarse con el aumento de la rentabilidad de las empresas y poder estar vigentes en el mercado.

1.2 Marco teórico

Cuando hablamos de confiabilidad decimos que es la probabilidad de que un equipo o sistema continúe operando de acuerdo condiciones establecidas durante un tiempo determinado. La confiabilidad también es conocida como la probabilidad de éxito, visto de un punto cuantitativo. Existen 2 tipos de confiabilidad: la prevista y la evaluada. La confiabilidad prevista es aquella que ya es conocida como dato de algún componente de forma individual y la confiabilidad evaluada es aquella en que se realiza mediante un estudio para poder calcularlo (Kumar, 2015).

1.2.1 Curva de confiabilidad

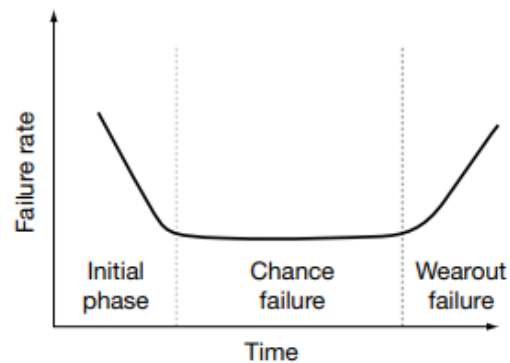
En los estudios de confiabilidad se utilizan las distribuciones continuas exponencial, normal y Weibull (Kumar, 2015).

1.2.2 Patrón de las fallas

Las fallas de los equipos suelen seguir la distribución de Poisson, es decir que tienen una baja frecuencia de fallas durante la vida normal del equipo (Kumar, 2015). Este comportamiento de fallas está representado mediante la curva de la bañera como se muestra en la figura 3. En una interpretación colectiva de los equipos mediante la curva de la bañera es en equipos estadísticamente iguales y con las mismas características operativas, de lo contrario tendrá que realizarse un análisis individual por cada equipo (Kumar, 2015).

Figura 3

Curva de la bañera



Nota. De “Industrial Engineering and Management”, por Kumar, 2015.

- MTTR

Este es un indicador de mantenimiento muy utilizado que significa tiempo medio de reparación el cual se calcula mediante la siguiente fórmula que se muestra en la figura 4.

Figura 4

Tiempo promedio de las fallas

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparación por falla}}{N^{\circ} \text{ de fallas}}$$

Nota. De “Industrial Engineering and Management”, por Kumar, 2015.

- MTBF

Es otro indicador de mantenimiento que muestra el promedio del tiempo entre una falla y otra, el cual se calcula mediante la siguiente fórmula que se muestra en la figura 5.

Figura 5

Tiempo promedio entre las fallas

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de operación}}{\text{N° de fallas}}$$

Nota. De “Industrial Engineering and Management”, por Kumar, 2015.

1.2.3 Modelos básicos de confiabilidad

De acuerdo a kumar (2015) menciona que los modelos de confiabilidad están representados en base a patrones de fallas basados en curvas exponencial weibull y normal.

- **Modelo CFR**

Este modelo representa una de las distribuciones más comunes en los análisis de confiabilidad ya que siguen un patrón de falla aleatoria. En la industria los equipos electrónicos están representados por una distribución exponencial.

- **Modelo weibull**

No siempre la tasa de fallas es constante y aleatoria como es el CFR. En el modelo Weibull se adapta para una tasa de fallos decreciente y creciente. Las piezas mecánicas suelen fallar debido al desgaste diario lo cual este modelo se adapta a ese tipo de componentes

- **Modelo normal**

Este tipo de modelo es la distribución más utilizada para evaluar comportamientos aleatorios de los sistemas. En prácticas se utiliza para calcular la confiabilidad en modelos de falla de fatiga y desgaste de los componentes.

2. PROBLEMÁTICA DE LA ORGANIZACIÓN

2.1 Descripción de la Organización

2.1.1 Descripción de la empresa

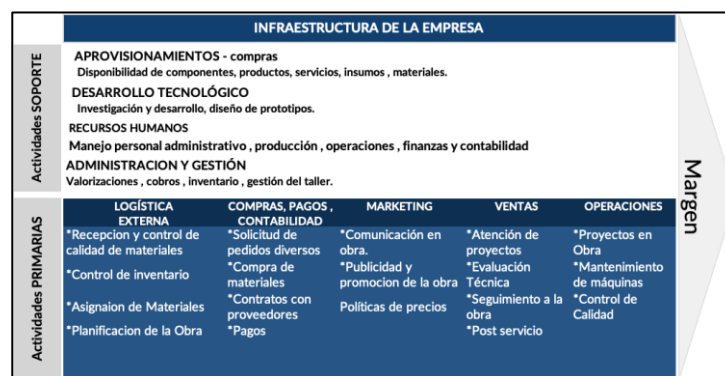
CONALVÍAS S.A. es una empresa creada en el año 1980, en Cali - Colombia, dedicado a la ejecución de proyectos de infraestructura vial.

2.1.2 Cadena de Valor

A continuación, vamos a revisar la cadena de valor de la compañía

Figura 6

Cadena de valor – 2022



2.1.3 Mapa de procesos

En la Figura 7, tenemos el Mapa de Procesos y sus áreas de soporte.

Figura 7

Mapa de procesos-2022



2.1.4 Diagrama SIPOC de Mantenimiento

En la Figura 8, se detalla las entradas y salidas del proceso de mantenimiento.

Figura 8

SIPOC de mantenimiento

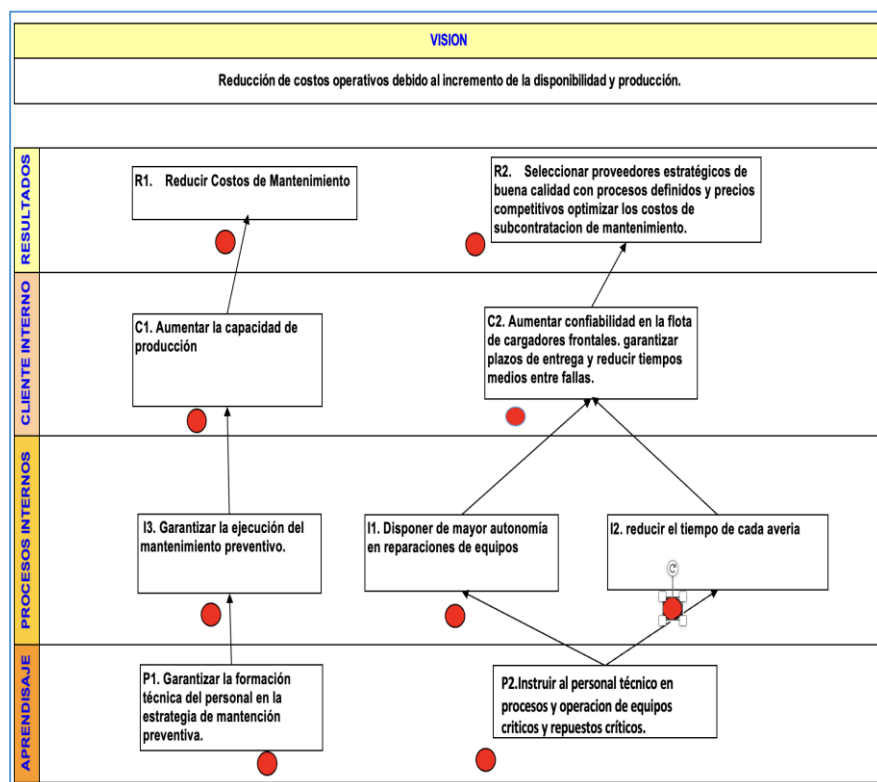


2.1.5 Mapa Estratégico de Mantenimiento

En la Figura 9, se observa el Mapa de Estratégico de mantenimiento que nos ayudará a trazar una línea clara de los procesos que se tiene que asegurar para alcanzar el objetivo.

Figura 9

Mapa Estratégico de Mantenimiento -2022

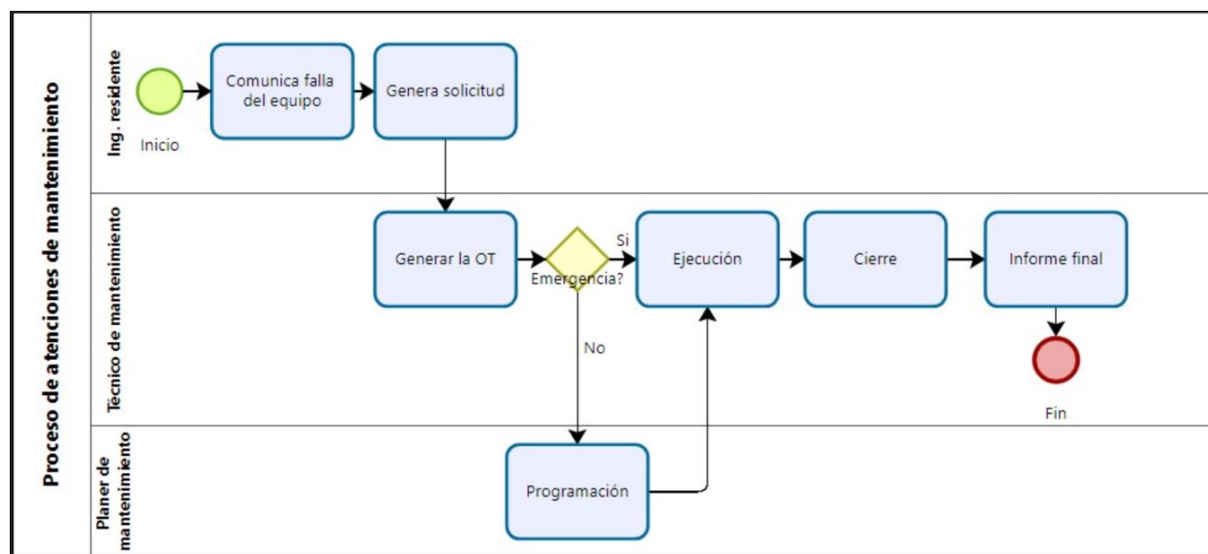


2.1.6 Flujograma del proceso de Mantenimiento

En la Figura 10, se muestra el flujograma del proceso de mantenimiento donde se planifica todas las actividades preventivas y correctivas, finalizando el proceso con el cierre de la OT y el informe respectivo como se puede evidenciar en la siguiente figura.

Figura 10

Flujograma del proceso de Mantenimiento -2018



2.2 Identificación del Problema

La empresa Conalvías en el año 2018 experimentó una disminución en la rentabilidad del proyecto debido a sobrecostos en el mantenimiento de la flota de cargadores frontales del Proyecto.

Esta desviación fue resaltada en la junta anual del directorio a través del gerente de proyecto donde manifiesta que el centro de costos de servicio de mantenimiento a aumentado con respecto al planeado.

Teniendo en cuenta que en las mismas condiciones operativas de otros proyectos el presupuesto de mantenimiento se mantiene dentro del estándar.

2.2.1 Impacto Económico

A continuación, mostramos en la Tabla 1

Gastos reales y presupuestados de mantenimiento y/o reparación en donde se evidencia un sobrecosto del 48%.

Tabla 1*Gastos reales y presupuestados de mantenimiento y/o reparación*

enero - diciembre 2022	
Presupuesto por reparaciones	S/. 1.319.725,51
Gastos reales por reparaciones	S/. 1.953.489,70
Sobrecostos	-S/. 633.764,19
sobrecostos (%)	48,02%

En el Anexo 6 tenemos el análisis del impacto económico de un (01) Cargador frontal malogrado en 1 día, según el área de trazabilidad de costos, la no producción asciende a S/ 8.840,0 por día.

2.2.2 Indicadores de Mantenimiento

Se muestra el cuadro comparativo de los resultados de los principales indicadores de mantenimiento con su respectiva meta corporativa y el benchmarking como brecha técnica.

Tabla 2*Comparativo con el Benchmarking de Mantenimiento*

INDICADOR	RESULTADO	META EMPRESA	BENCHMARKS DE MANTENIMIENTO
MTTR (HRS)	17.8	6	3- 6 HRS
MTBF (HRS)	110.4	140	140 - 160 HRS
DISPONIBILIDAD	85%	90%	88% A 92%

Nota. Información al 30 de agosto de 2023. Adaptado de “Performance metrics for mobile mining equipment”, por Caterpillar, 2017 (www.caterpillar.com).

De acuerdo con la tabla 2, el área de mantenimiento no está cumpliendo con las metas de la empresa que están alineados con el Benchmarking de mantenimiento de caterpillar, 2017 para equipos de maquinarias de construcción de vías.

A continuación, mostramos en la tabla 3 las causas principales del problema y el impacto económico que afecta la rentabilidad del proyecto.

Tabla 3

Evaluación de las causas según la tabla de jerarquización y su nivel de impacto

N°	Clasificación "M"	Causa Principal	Impacto en el costo	Grado de importancia
6.1	Máquinas y equipos	Disponibilidad insuficiente de equipo debido a tareas de reparación	S/185,648.40	Muy importante
1.1	Métodos	Enfoques inadecuados en el mantenimiento preventivo y correctivo	S/180,342.60	Muy importante
4.2	Control	Procesos deficientes para la asignación de recursos	S/170,177.70	Muy importante
4.1	Control	Indicadores de desempeño ineficaces	S/165,432.00	Muy importante
2.3	Materiales	Falta de stock de repuestos críticos y no críticos	S/47,887.00	Muy importante
2.2	Materiales	Deficiente mantenimiento de los activos adquiridos	S/43,222.00	Importante
3.2	Medio Ambiente	Entorno inadecuado del área de reparaciones	S/28,765.00	Importante
5.1	Mano de obra	Equipo inapropiado y carencia de trabajadores	S/14,553.00	Medianamente importante
5.3	Mano de obra	Falta de motivación entre los empleados	S/10,232.00	Medianamente importante
2.1	Materiales	Requerimiento inapropiado en las solicitudes de recambio	S/9,322.00	Medianamente importante
5.2	Mano de obra	Roles de trabajo no definidos	S/8,755.00	Medianamente importante
6.3	Máquinas y equipos	Mala asignación de recursos del área.	S/7,211.00	Medianamente importante
6.2	Máquinas y equipos	Uso de Herramientas de trabajos en mal estado.	S/6,400.00	Medianamente importante
1.3	Métodos	Falta de registros en el departamento	S/5,244.00	Poca importancia
3.1	Medio Ambiente	Deficiencia en la señalización en el lugar de operaciones	S/3,399.00	Poca importancia
1.2	Métodos	Falta de procedimientos de trabajos	S/1,899.00	Poca importancia

Mediante este cuadro, y su análisis interno identificamos cuáles son las causas que tienen un mayor impacto en nuestro proyecto.

Ahora procederemos a crear un Diagrama de Ishikawa y Pareto (ver Figura 11 y Figura 12) para obtener una representación visual más clara de las causas que originan el problema.

Figura 11

Diagrama de Ishikawa

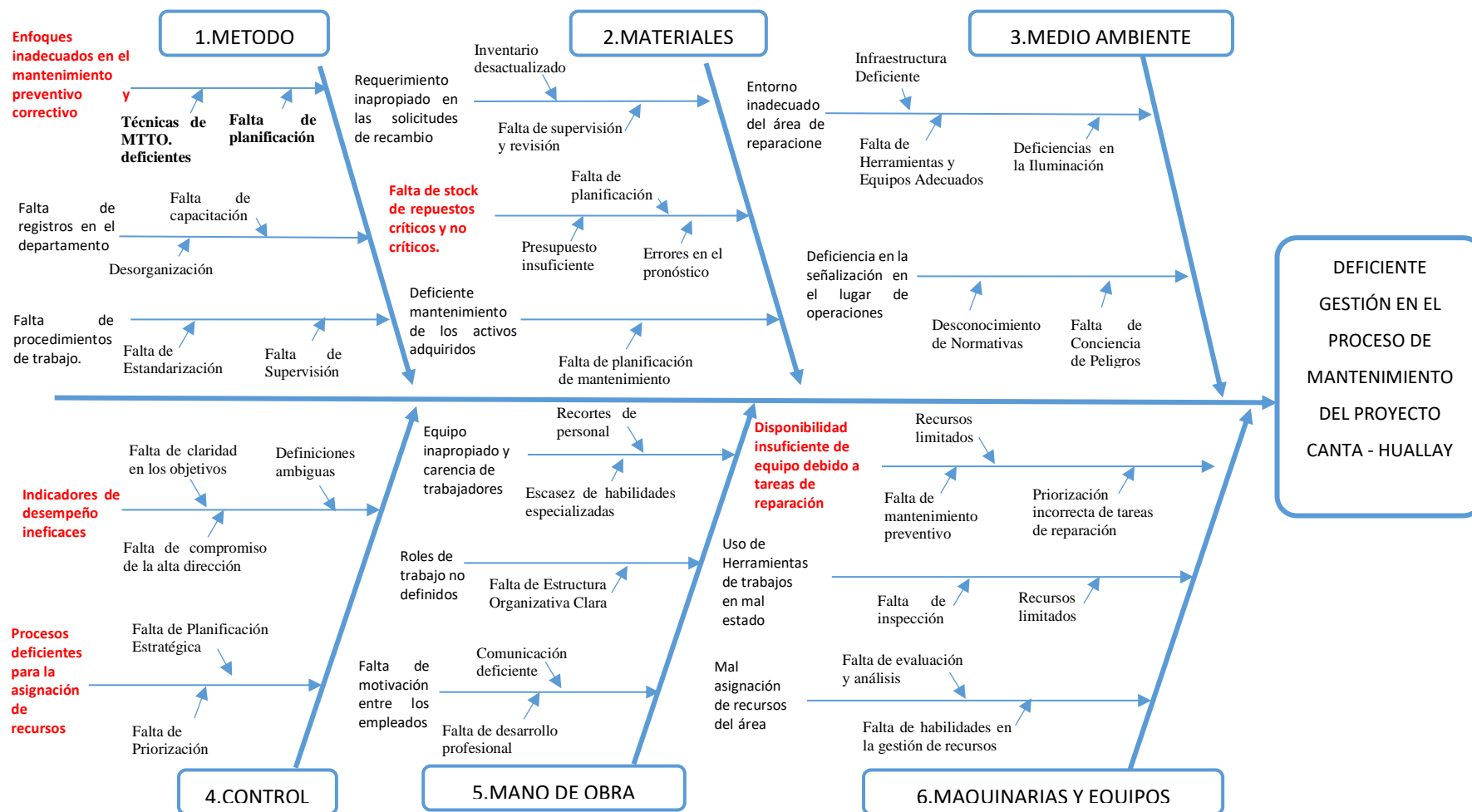
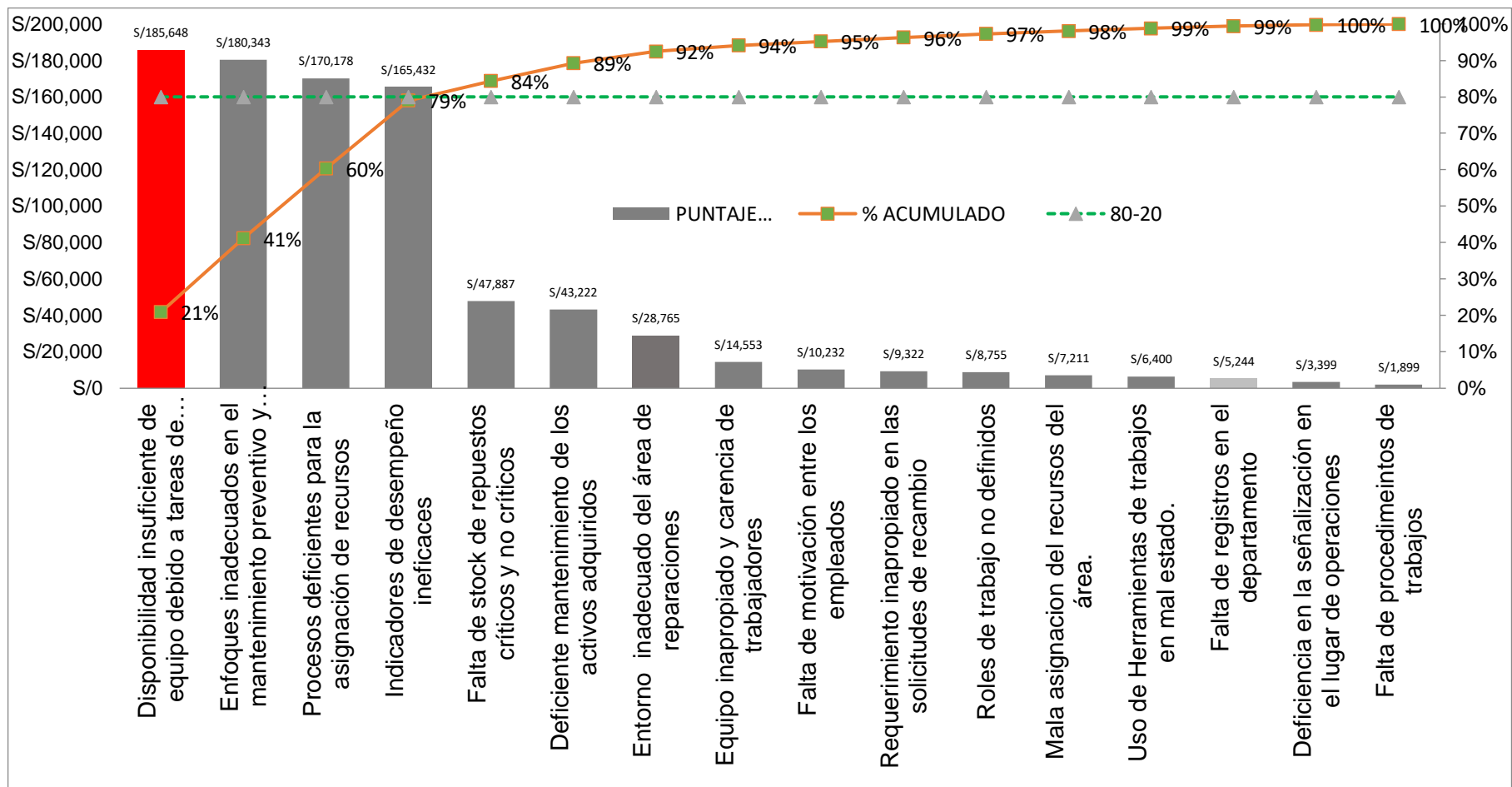


Figura 12

Diagrama de Pareto



En la gráfica de Pareto, se puede notar 4 causas que forman el 80% de los problemas:

- Disponibilidad insuficiente de equipo debido a tareas de reparación.
- Enfoques inadecuados en el mantenimiento preventivo y correctivo
- Procesos deficientes para la asignación de recursos.
- Indicadores de desempeño ineficaces

2.3 Planteamiento de objetivos

2.3.1 *Objetivo General*

Implementar un Sistema de gestión de mantenimiento para la flota de cargadores frontales CAT empleando la metodología RCM, aumentado la disponibilidad en 5% y disminuir los costos de mantenimiento en 10% anual en la obra de Construcción de carreteras Canta – Huallay para diciembre del 2022.

2.3.2 *Objetivos específicos*

1. Incrementar la disponibilidad de la flota en un 90% para diciembre del 2022.
2. Incrementar el tiempo medio entre fallas (MTBF) en un 20% para diciembre del 2022.
3. Reducir el tiempo medio por reparación (MTTR) en un 60% para diciembre del 2022.

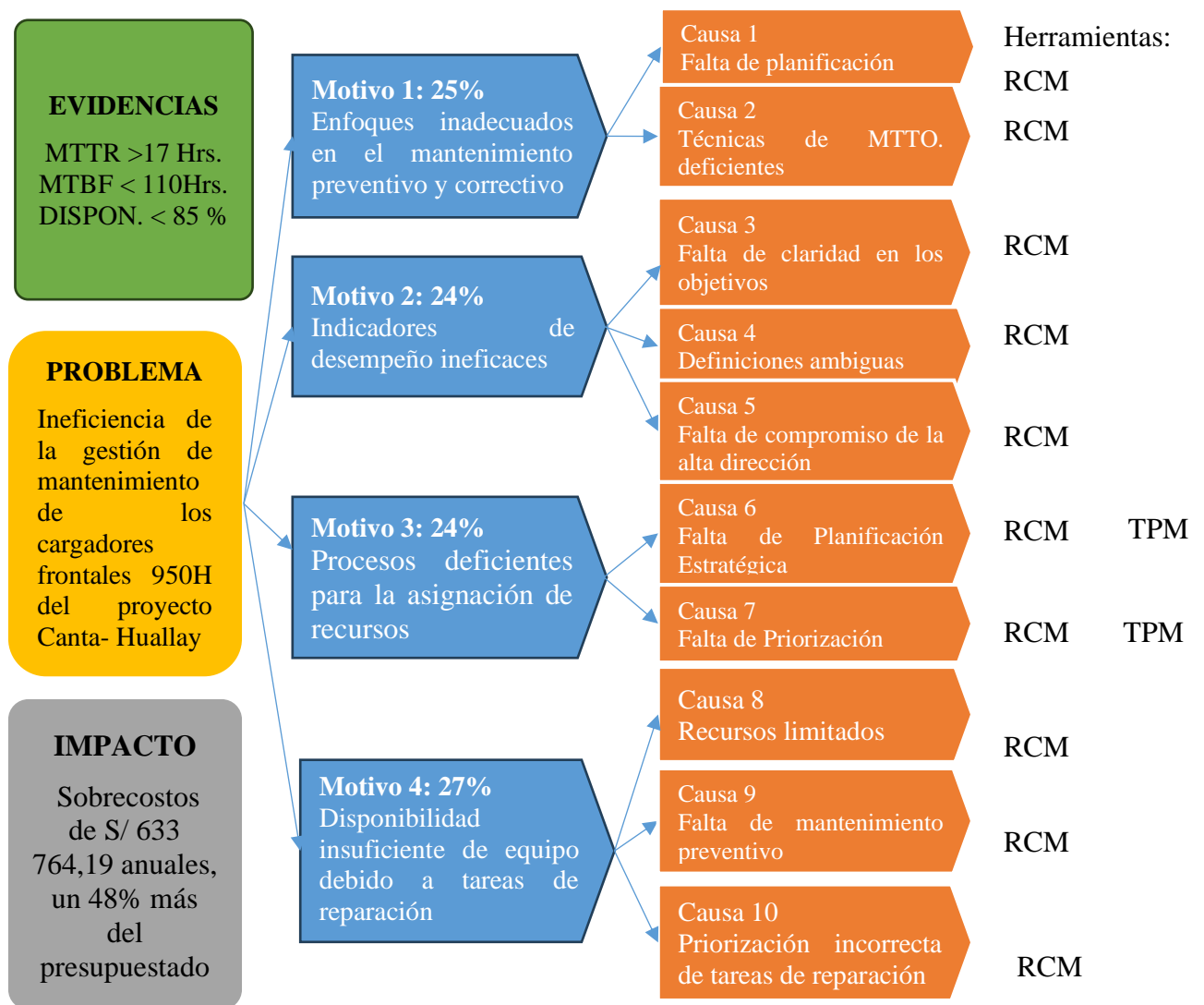
3. Capítulo III – PROPUESTA DE INGENIERÍA

3.1 Vinculación de causa con la solución

En capítulo realizamos el diagrama de árbol de motivos y causas y proponemos las herramientas de ingeniería que aplicaremos.

Figura 13

Diagrama del árbol de motivos y causas del problema.



En la Figura 13 evidenciamos el impacto del problema de una ineficiente gestión de mantenimiento en los cargadores frontales 950H que se está realizando en el proyecto de Canta Huallay, así mismo, se muestra los motivos y causas que esta generado esta deficiencia.

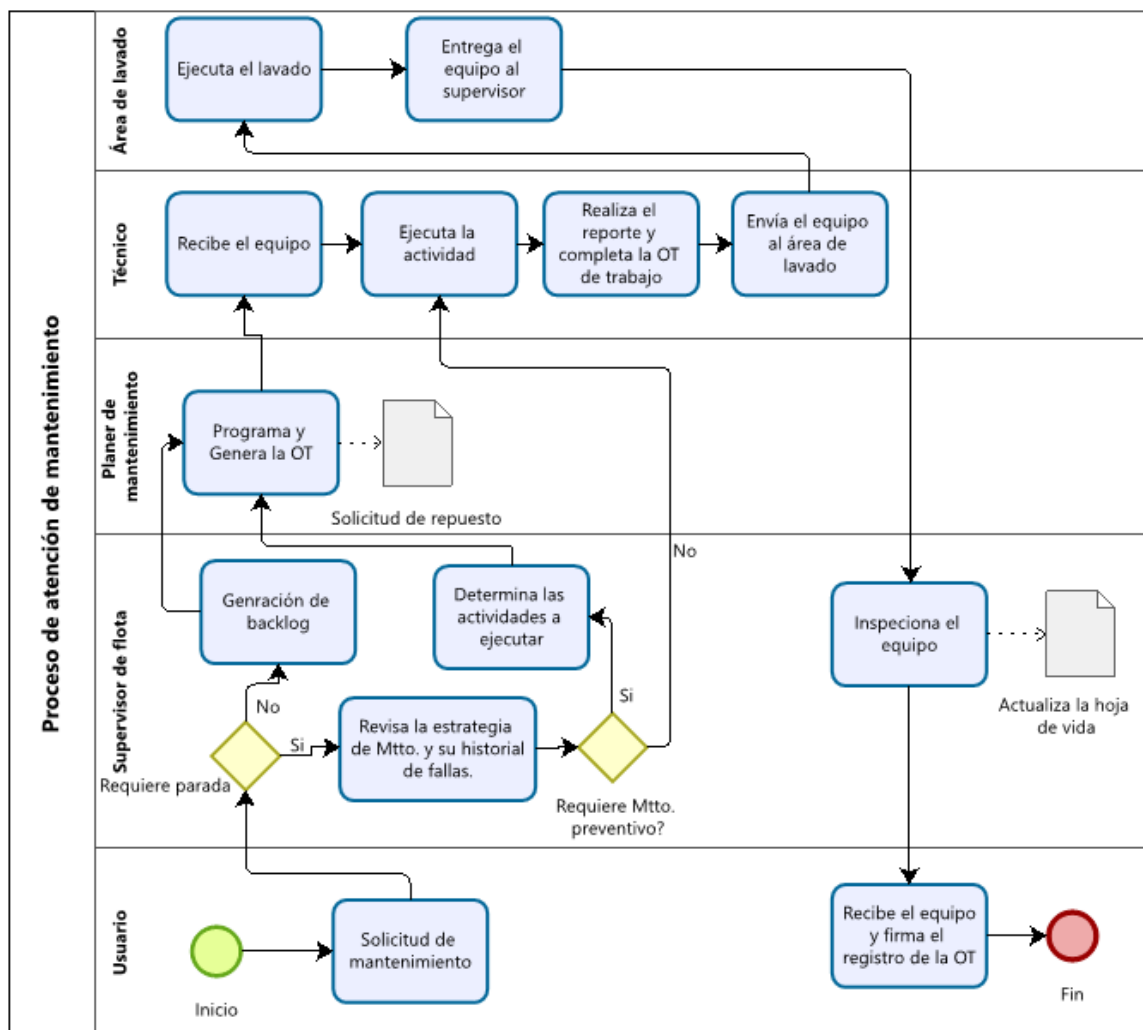
3.2 Diseño detallado de la Solución

3.2.1 Flujograma del proceso de atención de mantenimientos

A continuación, se presenta el nuevo flujo del proceso de mantenimiento alineado a la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad (ver figura 14).

Figura 14

Flujograma del proceso de Mantenimiento -2022

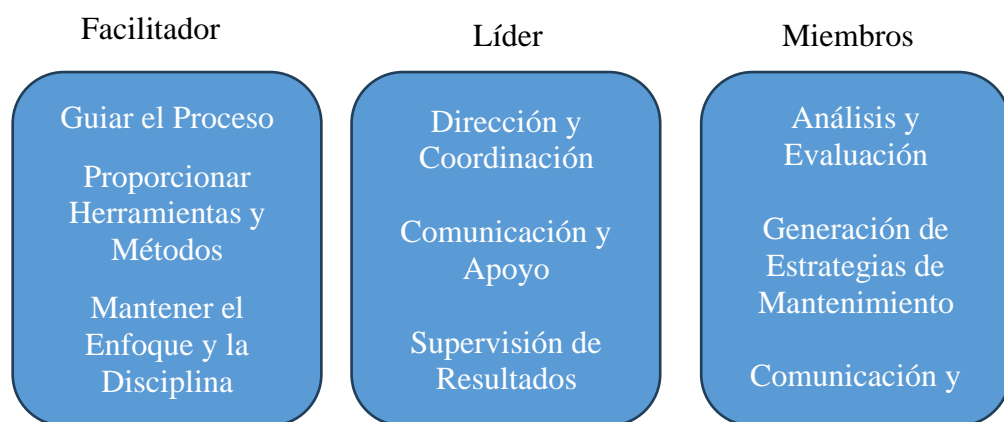


3.2.2 Pasos para la implementación de RCM

Para el inicio del presente proyecto se propone la creación de equipos multidisciplinarios compuestos por la gerencia de mantenimiento y producción. En este contexto, se designará un líder de RCM para guiar el proceso de RCM, el cual se describe a continuación en la Figura 15.

Figura 15

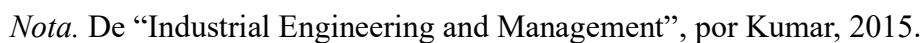
Funciones generales de los equipos de trabajo



En conjunto, estos roles desempeñan un papel crucial en el proceso de RCM, desde la dirección y coordinación del proyecto hasta la facilitación de las actividades de análisis y la generación de estrategias de mantenimiento efectivas. La comunicación efectiva y la colaboración son clave para el éxito del equipo de RCM.

Una vez conformado el equipo de trabajo continuaremos con los pasos de la implementación del RCM como lo indica Kumar ,2015.

Pasos para la implementación del RCM



3.3 Diseño de indicadores

A continuación, se presenta los indicadores de mantenimiento propuestos en la metodología RCM.

Tabla 4

Disponibilidad mecánica, MTTR y MTBF

INDICADOR	Unidad	FÓRMULA	EXPLICACIÓN	PERIODICIDAD
Disponibilidad Mecánica (DM)	%	$\frac{\Sigma \text{Tiempo Real operativo de Equipos}}{(\Sigma \text{Tiempo Real operativo de Equipos} + \Sigma \text{Tiempo Varado} + \Sigma \text{Tiempo en Mantenimiento})}$	Este indicador nos mide la Disponibilidad Mecánica de los equipos, con respecto a la Gestión de Equipos y Mantenimiento del mes evaluado. Sirve para realizar un análisis selectivo de los Equipos cuyo comportamiento está por debajo de la meta.	Mensual
Tiempo medio entre fallas (MTBF)	Hrs	Horas trabajadas / # de paradas	Muestra el tiempo promedio que la máquina trabaja antes de parar por algún motivo mecánico. Proporciona información sobre la adecuada gestión del mantenimiento.	Mensual
Tiempo Medio para reparar (MTTR)	Hrs	Hrs de reparaciones / # de paradas	Muestra el tiempo promedio que demoran las reparaciones o intervenciones a la máquina por motivos mecánicos. Es el tiempo que la máquina se encuentra en estado de reparación.	Mensual

Nota. Adaptado de “Industrial Engineering and Management”, por Kumar, 2015.

Luego mostramos el resultado actual de los indicadores vs los esperados.

Tabla 5

Resultado de indicadores

INDICADOR	Unidad	AS - IS	TO BE	VARIACION
Disponibilidad Mecánica (DM)	%	85%	90%	Incremento 5%
Tiempo medio entre fallas (MTBF)	Hrs	110.4	140	Incremento 20%
Tiempo Medio para reparar (MTTR)	Hrs	17.8	6	Disminuye > 60%

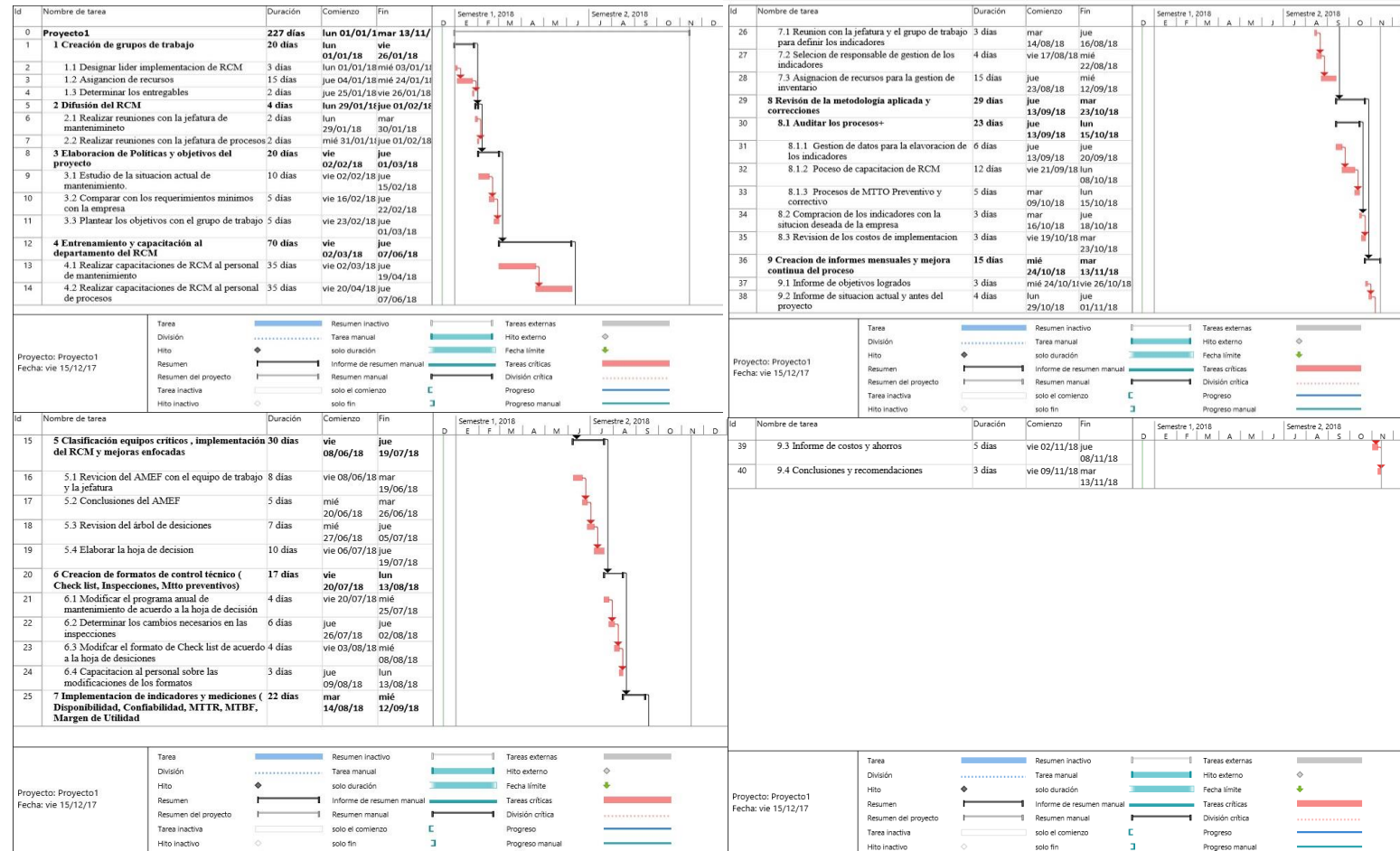
3.4 Consideraciones de la implementación

3.4.1 Cronograma de ejecución de RCM

Para la implementación del RCM del presente proyecto, se programa como inicio de desarrollo a partir del 1ero de enero 2018 y finaliza a mediados de diciembre de 2018.

Figura 17

Cronograma de ejecución de RCM



3.4.2 Presupuesto para la ejecución del proyecto

Para que esta implementación sea exitosa y cumpla con los estándares de ejecución y control de una empresa de clase mundial se propone lo siguiente.

1. Invertir en reparaciones mayores a los equipos con la finalidad de lograr mantener hasta el término del proyecto (5 años) una disponibilidad implementando la metodología RCM.
2. 1 taller de mantenimiento que soporte la implementación
3. Oficinas administrativas de control y gestión.
4. Personal capacitado para soportar y mantener la implementación como mejora continua de los procesos de mantenimiento.
5. Todos estos conceptos tienen un valor de inversión de S/. 1,884,620.
6. Y el costo de la implementación de la metodología RCM es S/. 105,554.

A continuación, mostramos en la Tabla 6 los gastos por incremento de personal de mantenimiento, que incluyen todos los costos de carga laboral (CTS, EPS, Es salud). Es importante destacar que el personal fue contratado exclusivamente para la implementación de RCM.

Tabla 6

Presupuesto personal de mantenimiento

N°	ÁREA	Jefe de Equipos		Supervisor Mantenimiento		Técnico de mantenimiento		Tecnico Junior		Total personal Planilla	Total promedio Salarial
		N°	Prom. Salarial	N°	Prom. Salarial	N°	Prom. Salarial	N°	Prom. Salarial		
1	OBRA	0		2	5,000.00	5	3,500.00	7	1,800.00	14	40,100.00
2	ADMINISTRATIVO	1	8,000.00	0		0		0		1	8,000.00
TOTAL S/. 577.200,00											

En este cuadro se cuantifica el incremento de personal dando como resultado un gasto anual de S/. 577,200.

En la siguiente Tabla 7 muestra el desglose del presupuesto (S/. 1,884,620.) por implementación de recursos (oficina, taller y reparaciones mayores), y el financiamiento del 55% del costo total de la Inversión.

Tabla 7*Presupuesto Implementación de recursos*

Recursos	S/1,884,620	%
Capital Propio	S/848,079	45%
Financiamiento (Préstamo)	S/1,036,541	55%
RCM	S/.105,554	
Inversión Total área de mantenimiento in situ		
Descripción	Inversión	%
Valor Proyecto Taller - Oficinas Canta -Huaylla	306,000	75.89%
Edificación , trampa de residuos y zona de lavado	13,940	3.46%
Instalaciones	10,200	2.53%
Inversión Técnica (infraestructura de obra)	5,100	1.26%
Flota de Transporte (3)	68,000	16.86%
Total	S/403,240	100 %
Mantenimiento		
Descripción	Inversión S/.	%
Mantenimiento instalación eléctrica	5,100	41%
Mantenimiento instalación sanitaria	4,080	32%
Otros gastos generales	3,400	27%
Total	S/12,580	100 %
Instalaciones		
Descripción	Inversión S/.	%
Red contra incendios	4,080	26%
Red IT	3,400	21%
Instalación de aire acondicionado	2,720	17%
Gas	2,720	17%
Líneas de aire (Equipos)	3,060	19%
Total	S/15,980.00	100 %
Maquinarias , Muebles y Enseres		
Descripción	Inversión S/.	%
Maquina Cargador frontal	1,428,000	100%
Muebles y enseres	6,800	0%
Total	S/1,434,800.00	100 %
Tramites y otros		
Descripción	Inversión S/.	%
Seguridad	6,800	38%
Legales	6,120	34%
otros	5,100	28%
Total Tramites y otros (USD)	S/18,020.00	100 %

A continuación, en la Tabla 8 , Mostramos los gastos proyectados para el proyecto que incluyen, costos indirectos, costos de mantenimiento y la depreciación.

Tabla 8

Costos de servicios

COSTOS INDIRECTOS					
DETALLE	2018	2019	2020	2021	2022
Agua Potable m ³	S/. 24,000.00	S/. 25,000.00	S/. 26,000.00	S/. 27,000.00	S/. 28,000.00
Varios Indirectos	S/. 91,560.00	S/. 91,560.00	S/. 91,560.00	S/. 91,560.00	S/. 91,560.00
Energía Eléctrica	S/. 36,000.00	S/. 37,000.00	S/. 38,000.00	S/. 39,000.00	S/. 40,000.00
TOTAL (S/.)	S/. 151,560.00	S/. 153,560.00	S/. 155,560.00	S/. 157,560.00	S/. 159,560.00

COSTOS DE VENTAS					
DETALLE	2018	2019	2020	2021	2022
Servicio de Mantenimiento	S/. 687,398.40	S/. 712,857.60	S/. 734,073.60	S/. 804,793.60	S/. 980,414.93
TOTAL (S/.)	S/. 687,398.40	S/. 712,857.60	S/. 734,073.60	S/. 804,793.60	S/. 980,414.93

DEPRECIACION					
DETALLE	2018	2019	2020	2021	2022
Depreciación	S/. 485,520.00	S/. 485,520.00	S/. 485,520.00	S/. 485,520.00	S/. 485,520.00
TOTAL (S/.)	S/. 485,520.00	S/. 485,520.00	S/. 485,520.00	S/. 485,520.00	S/. 485,520.00

Luego, mostramos el presupuesto por Implementar la metodología de RCM y su continuidad en los 4 años divididos en materiales y herramientas, capacitación y subcontratación.

Tabla 9

Costo de materiales y herramienta, capacitación y subcontratación.

COSTOS DE MATERIALES Y HERRAMIENTAS A UTILIZAR EN LA IMPLEMENTACIÓN					
DESCRIPCION			CANTIDAD	COSTO	
Anaqueles			4 und.		S/. 250
Cuadro Mural de mantenimiento para crear conciencia			2 und.		S/. 300
Imprenta , formatos			260 und		S/. 350
Equipo de medición de carrilería			1 und.		S/. 1,500
Herramientas			1 und.		S/. 2,100
Equipo de diagnostico de motor			1 und.		S/. 1,800
Equipo predictivo (temperatura, rpm,)			30 und.		S/. 150
Separatas explicación del RCM al Área de equipos			10 und		S/. 50
Publicaciones de resultados mensuales			4 und.		S/. 600
Incentivos			7 gln		S/. 300
Pintura			20 und		S/. 230
Materiales varios				TOTAL	S/. 7,630.00
COSTO DEL PROGRAMA DE CAPACITACION					
DESCRIPCION	PERSONAL	CANTIDAD	HORAS	COSTO H-H	COSTO S/.
Capacitación en la metodología del RCM	Jefe de Equipo	1	30	45	S/. 1,350.00
Capacitación en la metodología del RCM	Asistente y auxiliares de equipos	2	30	30	S/. 1,800.00
Capacitación en la metodología del RCM	Técnico mecánicos / eléctricos	8	30	15	S/. 3,600.00
Capacitación en la metodología del RCM	Supervisor de Mantenimiento	1	30	30	S/. 900.00
Capacitación en la metodología del RCM	Operadores de maquinaria	7	30	10	S/. 2,100.00
Implementación del RCM	Supervisor de Mantenimiento	1	250	30	S/. 7,500.00
Implementación del RCM	Técnico mecánicos / eléctricos	8	250	15	S/. 30,000.00
Implementación del RCM	Operadores de maquinaria	7	250	10	S/. 17,500.00
Implementación del RCM	Facilitador del RCM	1	250	45	S/. 11,250.00
				TOTAL	S/. 76,000.00
COSTO POR SUB-CONTRATACIÓN DE PERSONAL PARA PROYECTO DEL RCM					
DESCRIPCION	PERSONAL	CANTIDAD	HORAS	COSTO H-H	COSTO S/.
Implementación en la metodología del RCM	Practicante de Ing. Industrial	1	720	13	S/. 9,360.00
Implementación en la metodología del RCM	Practicante de Ing. Mecánica	1	720	9	S/. 6,804.00
Implementación en la metodología del RCM	Instructor de Excavadora	1	720	8	S/. 5,760.00
				TOTAL	S/. 21,924.00
				TOTAL	S/. 105,554.00

Después de haber ejecutado el proyecto con éxito, los futuros gastos administrativos que se tendrán que asumir se muestran en la tabla 10.

Tabla 10

Gastos administrativos post- proyecto

Descripción	Costo
Ing. responsable	S/5.500,00
Transporte	S/1.500,00
Alimento	S/2.200,00
Apoyo técnico	S/3.500,00
Insumos y materiales	S/1.000,00
Presupuesto para gestión	S/12.000,00
TOTAL,S/ 25.700,00	

Es necesario para poder realizar el ciclo Deming de la mejora continua y poder perfeccionar nuestro proceso de mantenimiento tener esto costo fijo dentro del presupuesto hasta llegar estandarizarlo en toda la empresa.

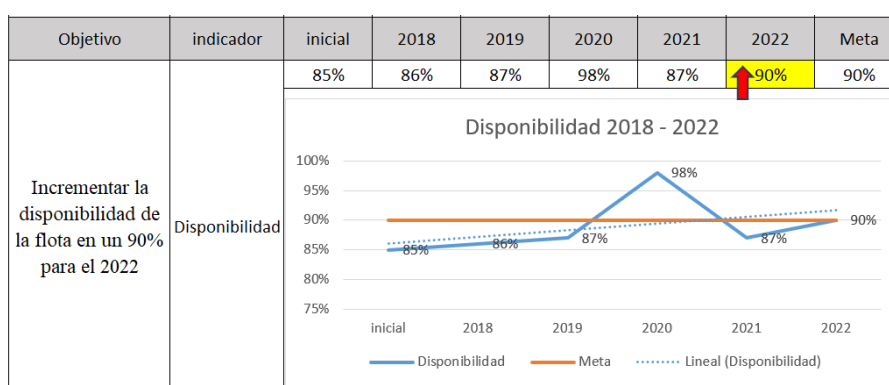
4. Resultado del Proyecto

4.1 Validación funcional

Durante la fase de implementación del RCM, se llevaron a cabo la ejecución de los planes de acción y un monitoreo de los indicadores que guardaban una relación directa con los objetivos del proyecto. A continuación, en la Tabla 11, se exhibe el rendimiento alcanzado en cuanto a la disponibilidad, logrando un 90% en el año 2022.

Tabla 11

Disponibilidad 2018 - 2022

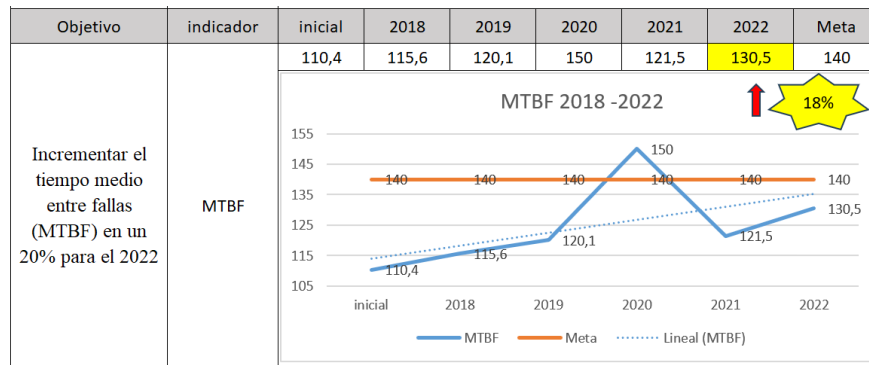


Como se evidencia en la Tabla 11, se ha conseguido un aumento en la disponibilidad del sistema, llegando a un 90%. Esto se traduce en la recuperación de 15.6 días al año, de los 312 programados inicialmente. Este incremento en la disponibilidad se refleja directamente en un incremento en la producción, con un valor estimado de S/ 965.328,00 anuales.

Con respecto al indicador MTBF, se ha registrado un incremento del 18% desde 2018 hasta 2022, tal como se detalla en la Tabla 12.

Tabla 12

MTBF 2018 - 2022

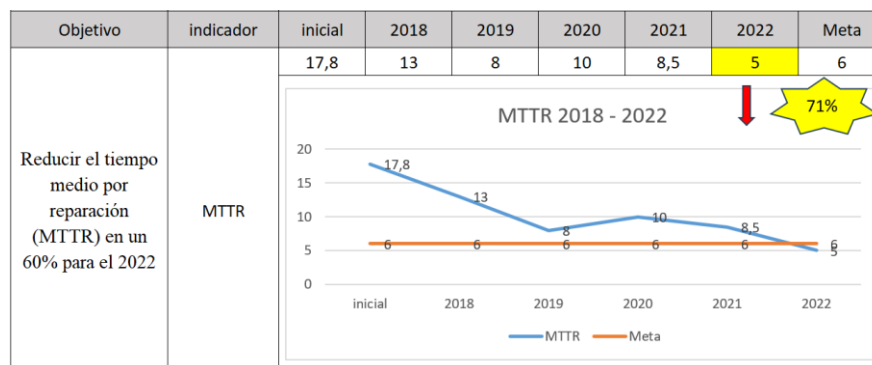


En la Tabla 12 se observa que aún falta superar el índice de MTBF, se plantea utilizar la metodología de mejora continua para superar este indicador.

Finalmente, se observa en la Tabla 13 una notable reducción del 71% en el indicador del Tiempo Medio para Reparar (MTTR).

Tabla 13

MTTR 2018 - 2022



El indicador destacado en este proyecto es el Tiempo Medio para Reparar (MTTR), como se observa en la Tabla 13. Este indicador refleja el impacto directo del trabajo realizado en las tareas de mantenimiento programado y la disponibilidad de repuestos críticos que previamente retrasaban las reparaciones

4.2 Evaluación del Impacto Económico

4.2.1 Flujo de caja

A continuación, en la Tabla 14, se presenta el Estado de Resultados al 2022, periodo que duró el proyecto.

Tabla 14

Estado de resultado

(miles de nuevos soles)					
	2018	2019	2020	2021	2022
INGRESOS					
VENTAS	3,158,400	3,000,480	1,579,200	1,895,040	2,210,880
EGRESOS					
COSTOS DE VENTA	838,958	866,418	889,634	962,354	1,139,975
Costos de Ventas	687,398	712,858	734,074	804,794	980,415
Costos Indirectos	151,560	153,560	155,560	157,560	159,560
UTILIDAD BRUTA	2,319,442	2,134,062	689,566	932,686	1,070,905
GASTOS OPERATIVOS	720,000	720,000	720,000	720,000	720,000
Gastos de Ventas	0	0	0	0	0
Gastos Administrativos	577,200	577,200	577,200	577,200	577,200
Depreciación	142,800	142,800	142,800	142,800	142,800
UTILIDAD OPERATIVO	1,599,442	1,414,062	-30,434	212,686	350,905
GASTOS FINANCIEROS	142,918	21,464	0	0	0
Intereses financieros	142,918	21,464			
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	1,456,524	1,392,598	-30,434	212,686	350,905
Impuestos (30%)	436,957	417,779	-9,130	63,806	105,272
UTILIDAD NETA	S/. 1,019,566	S/. 974,819	S/. -21,304	S/. 148,880	S/. 245,634
RENTABILIDAD	32.28%	32.49%	-1.35%	7.86%	11.11%

Tabla 15

Flujo de caja del proyecto

FLUJO DE CAJA (miles de nuevos soles)						
	Año 0	2018	2019	2020	2021	2022
INGRESOS						
VENTAS	-	3,158,400	3,000,480	1,579,200	1,895,040	2,210,880
FINANCIACIÓN (Préstamo bancario)	1,036,541					
INVERSIÓN						
Capital de Trabajo	848,079					
COSTOS DE VENTA		838,958	866,418	889,634	962,354	1,139,975
Costos de Ventas		687,398	712,858	734,074	804,794	980,415
Costos Indirectos		151,560	153,560	155,560	157,560	159,560
UTILIDAD BRUTA		2,319,442	2,134,062	689,566	932,686	1,070,905
GASTOS OPERATIVOS		720,000	720,000	720,000	720,000	720,000
Gastos de Ventas		0	0	0	0	0
Gastos Administrativos		577,200	577,200	577,200	577,200	577,200
Depreciación		142,800	142,800	142,800	142,800	142,800
UTILIDAD OPERATIVA (EBIT)		1,599,442	1,414,062	-30,434	212,686	350,905
Impuestos a la renta (30%)		479,832	424,219	-9,130	63,806	105,272
UTILIDAD NETA OPERATIVA NOPAT		1,119,609	989,844	-21,304	148,880	245,634
(+) Depreciación		142,800	142,800	142,800	142,800	142,800
FLUJO DE CAJA OPERATIVO (FCO)		1,262,409	1,132,644	121,496	291,680	388,434
Capital de trabajo						848,079
FLUJO DE CAJA LIBRE (FCL)=FCE	-1,884,620	1,262,409	1,132,644	121,496	291,680	1,236,513
Préstamo	1,036,541					
Amortización del préstamos		-657,698	-378,843			
Interés del préstamo		-142,918	-21,464			
Ahorro tributario del prestamo		42,875	6,439			
Inversión proyecto		-105,554	-25,700	-25,700	-25,700	-25,700
FLUJO DE CAJA FINANCIERO	-S/. 848,079	S/. 399,115	S/. 713,075	S/. 95,796	S/. 265,980	S/. 1,210,813

Se observa en la Tabla 1515, que el flujo de caja financiero en el primer año es positivo.

4.2.2 Análisis Financiero Indicadores de Rentabilidad

A continuación, se mostrarán los indicadores más significativos y útiles para la evaluación económica del proyecto.

Tabla 16*Resultados de TIR, VAN, B/C, PAYBACK*

INTERES DEL BANCO	20.95%
COK	24.22%
TIR	48.19%
VAN	S/. 1,123,734.06
PAYBACK	4,33
VAN INGRESOS	S/. 6,854,904.77
VAN COSTOS	S/. 3,338,915.48
B/C	2.05
INTERES DEL BANCO	20.95%
WACC	25.05%
TIR	48.19%
VAN	S/. 1,107,108.44
VAN INGRESOS	S/. 6,750,044.17
VAN COSTOS	S/. 3,294,338.30
B/C	2.05

El proyecto es rentable por tener un VAN >1 y la TIR > al WACC y al COK, además el payback es de 4 años 4 meses y un beneficio de 2.05 soles por cada sol.

4.3 Evaluación de impactos no económicos

La implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad no solo tiene impactos económicos, sino que también puede tener impactos no económicos significativos en la organización como se describe a continuación:

4.3.1 Reducción de Accidentes Laborales

El departamento de seguridad reportó una disminución del 40% en la incidencia de accidentes en el proyecto, evaluando esta tasa por cada 100 trabajadores. Se inició con 5 accidentes en el año 2018, alcanzando una notable reducción a 3 accidentes en el año 2022.

4.3.2 Personal Motivado

Se realizó una encuesta llevada el 2018, en la cual participaron 70 trabajadores. La encuesta se basó en una escala de 0 a 100, resultando en un puntaje del 70% en ese año y experimentando un aumento a un 85% en el periodo 2022.

4.3.3 Mejora de las Relaciones con el Cliente Interno

Con el propósito de medir las relaciones internas, se llevó a cabo una encuesta en 2018 y otra en 2022. Estos estudios revelaron un incremento significativo del 20% en la evaluación de las relaciones internas durante este periodo.

4.3.4 Reducción de Multas por Retrasos

Al mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los activos, la implementación del RCM ayudó a cumplir con los plazos y horarios de producción. Esto reduce la probabilidad de incumplir con entregas y plazos, evitando multas y sanciones por retrasos en la entrega de los avances de la obra, de esta manera se eliminó en un 100% las multas para el 2022.

Tabla 17

Medición del KPI en 2018 y 2022

Aspecto	KPI	Cifra en 2018	Cifra en 2022	Mejora
Reducción de Accidentes Laborales	Tasa de Accidentes Laborales por 100 empleados	5.0	3.0	Reducción de 40%
Personal Motivado	Encuesta de Satisfacción del Empleado	70 (en una escala de 0-100)	85	Aumento de 21.4%
Mejora de las Relaciones con el Cliente Interno	Encuesta de Evaluación de Relaciones Internas.	3.5 (en una escala de 1-5)	4.2	Aumento de 20%
Reducción de Multas por Retrasos	Monto total de multas por retrasos	S/ 390,000	S/ 0	Reducción del 100%

En la Tabla 17, se presenta la evaluación de los Indicadores Clave de Desempeño (KPI) para los años 2018 y 2022, lo cual refleja mejoras significativas que han resultado de la implementación exitosa del RCM. Estas mejoras evidencian el impacto positivo y el éxito de la estrategia de RCM en la gestión y el rendimiento de la organización.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Esta propuesta de mejora consiste en reducir las actividades correctivas y en consecuencia mejorar la disponibilidad de los equipos, analizando las fallas, y mejorando los tiempos de atención, así como; la mejora en la estrategia de mantención de acuerdo con el contexto operacional y criticidad de los equipos con la finalidad de garantizar la producción continua del proyecto.

La implementación del RCM logró aumentar la disponibilidad en un 5% cumpliendo la brecha esperada por la organización, así como, la reducción de los costos de mantenimiento del 41% a lo largo de los 5 años.

Se logró realizar un diagnóstico completo de la situación con la selección de un modelo de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) satisfaciendo las prioridades de nuestro cliente interno y bajo la comprobación de éxito de esta metodología en el Mantenimiento de Clase Mundial que solucionará las 4 principales causas que impactan en el 80% del problema.

Se logró incrementar en un 18% el MTBF y disminuir el MTTR en un 71% durante los 5 años de duración del proyecto.

Se logró evaluar el impacto económico financiero que genera la implementación de la metodología en términos de rentabilidad para la empresa, logrando tener un VAN positivo y la TIR mayor al WACC siendo rentable para la empresa, llegando a tener una sobre ganancia de S/. 1,1 MM.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda actualizar mensualmente los indicadores del sistema de gestión propuestos con la finalidad de observar posibles variaciones en el sistema y así poder tomar acciones correctivas o preventivas de manera programada.

Hacer seguimiento de posibles oportunidades de mejoras enfocada en el desarrollo de esta metodología del RCM para la mejora continua del proceso.

Se recomienda actualizar los modos de fallas en la flota de Cargadores Frontales para ajustar los planes de mantenimiento y contribuir a la mejora continua del proceso.

Referencias

Cámara Peruana de la Construcción (2023). Informe Económico de la construcción.

¿Cómo afrontar los desafíos de una país en emergencia permanente?.

http://www.construccioneindustria.com/iec/descarga/IEC62_0223.pdf

Caterpillar. (2017). *Performance metrics for mobile mining equipment*. Recuperado el 30 de agosto de 2023, de www.caterpillar.com

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2023). *Principales Indicadores*

Macroeconómicos. Recuperado el 30 de agosto de 2023, de

<https://m.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/economia/>

Kumar, K. (2015). *Industrial Engineering and Management*. Pearson India Education Services Pvt.

Marsh McLennan. (2021). *Future of Construction*. Recuperado el 30 de agosto de 2023, de <https://www.marsh.com/mx/industries/construction/insights/the-future-of-construction-report.html>

Anexo(s)

Anexo 1

Análisis FODA

OPORTUNIDADES ESTRATÉGICAS	AMENAZAS ESTRATÉGICAS
1. Crecimiento del sector construcción y Exigencia del mercado internacional para ser una empresa de clase mundial.	1. Desaceleración de proyectos de inversión sectorial por coyuntura política actual y desaceleración de nuevos proyectos de construcción.
2. Posibilidad de integración mejora del ranking nacional con empresas del sector construcción.	2. Nuevos competidores en el rubro de construcción provenientes de China.
3. Solvencia del corporativo a nivel internacional.	3. Nuevas requerimientos y requisitos post pandemia.
FORTALEZAS ESTRATÉGICAS	DEBILIDADES CRÍTICAS
1. Solvencia financiera de la casa Matriz por Megaproyectos ejecutados a nivel LATAM.	1. Sobrecosto de mantenimiento y falta de estandarización de procesos claves.
2. Convenio Estratégico a nivel internacional con proveedores claves.	2. Falta de desarrollo de una metodología aplicado a la flota de equipos para aumentar la confiabilidad y disponibilidad (RCM)
3. Recursos de infraestructura y parque motor para ejecutar operaciones de proyectos en todo el Perú.	3. Falta de capacitación a técnicos en prácticas de gestión de mantenimiento de equipo.

Anexo 2

Gastos de mantenimiento por reparación de máquinas enero-diciembre 2022.

descripción de gastos	Monto (S/.)
Reparación de Cargador Frontal 1	S/ 270,237.30
Reparación de Cargador Frontal 2	S/ 265,630.70
Reparación de Cargador Frontal 3	S/ 290,290.90
Reparación de Cargador Frontal 4	S/ 295,634.50
Reparación de Cargador Frontal 5	S/ 295,149.40
Reparación de Cargador Frontal 7	S/ 285,634.70
Reparación de Cargador Frontal 8	S/ 250,912.20
	S/ 1,953,489.70

Tarifa cargador frontal 950H

CARGADOR 950 H - TARIFA SECA		< 180HORAS		
Horas Presupuesto		180		
Consumo gl/hr		8.50		
Precio: NS / Galón		8.78		
COSTOS OBRA		Valores		
Combustible		0%		
Mano de obra		0%		
TOTAL COSTOS OBRA		0.00		
COSTOS EQUIPO		Valores		
Reserva para Mito y reparaciones	65%	Elementos de desgaste	6,185.64	22%
		Lubricantes y filtros	3,855.20	14%
		Repuestos	5,492.86	20%
		Reparaciones	2,296.15	8%
Costos de posesion	31%	Otros costos	500.00	2%
		Depreciación	7,943.18	29%
TOTAL COSTOS EQUIPO		26,273.02		
TOTAL COSTOS		26,273.02		
Facturación		27,586.67		
Facturación segundo turno		27,081.67	5%	
Utilidad		1,313.65		
Margen		5.00%	100%	

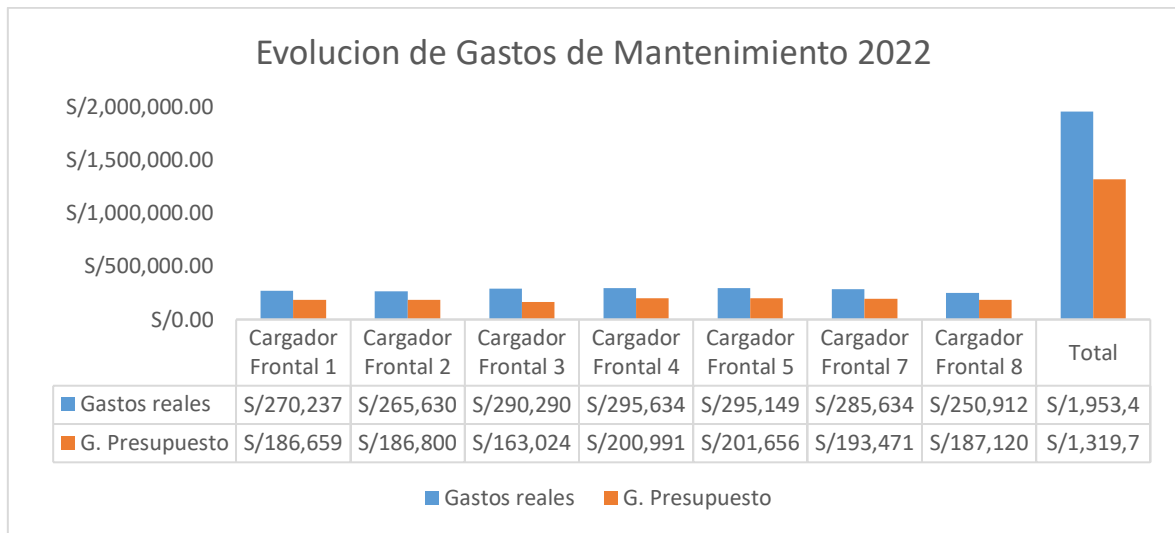
Anexo 4

Reserva por reparaciones del Periodo enero – diciembre 2022

CUADRO DE RESERVA POR																
CENTRO DE COSTO	DESCRIPCION	% RESERVA POR REPARACIONES	FIE ENERO 2022 Nuevos Soles	FIE FEBRERO 2022 Nuevos Soles	FIE MARZO 2022 Nuevos Soles	FIE ABRIL 2022 Nuevos Soles	FIE MAYO 2022 Nuevos Soles	FIE JUNIO 2022 Nuevos Soles	FIE JULIO 2022 Nuevos Soles	FIE AGOSTO 2022 Nuevos Soles	FIE SEPTIEMBRE 2022 Nuevos Soles	FIE OCTUBRE 2022 Nuevos Soles	FIE NOVIEMBRE 2022 Nuevos Soles	FIE DICIEMBRE 2022 Nuevos Soles	RESERVA TOTAL PARA REPARACIONES HASTA DICIEMBRE 2022 Nuevos Soles	
EPE25950H1	Cargador Frontal Cat 950H	65.40%	26,336.74	19,049.52	6,979.33	24,594.11	31,621.68	32,526.39	38,332.36	23,550.98	16,555.80	20,957.72	22,322.00	22,585.89	186,659.79	
EPE25950H2	Cargador Frontal Cat 950H	65.40%	28,557.94	32,590.17	22,282.31	27,597.65	30,664.48	32,288.91	31,320.35	11,080.45	23,078.42	19,576.26	5,654.00	20,937.16	186,800.77	
EPE25950H3	Cargador Frontal Cat 950H	65.40%	30,734.42	23,675.97	27,346.65	27,971.45	34,930.49	35,066.05	17,510.12	32,037.76	1,225.17	6,847.79	5,234.00	6,693.04	163,024.48	
EPE25950H4	Cargador Frontal Cat 950H	65.40%	33,309.50	26,722.97	25,838.59	27,544.30	27,711.63	40,037.32	24,737.81	47,578.20	16,228.21	14,379.50	10,222.00	13,015.91	200,991.16	
EPE25950H5	Cargador Frontal Cat 950H	65.40%	34,370.11	27,679.44	27,275.07	29,250.53	29,843.69	34,348.40	37,697.27	10,727.47	21,205.76	20,230.33	13,567.00	22,148.36	201,656.61	
EPE25950H6	Cargador Frontal Cat 950H	65.40%	33,225.32	26,390.29	25,309.58	28,939.50	38,383.38	27,513.70	32,331.11	14,028.55	22,500.55	20,712.34	11,233.00	15,261.09	193,471.78	
EPE25950H7	Cargador Frontal Cat 950H	65.40%	27,825.75	27,306.04	22,520.68	32,090.52	29,022.04	33,806.16	47,406.64	15,695.51	12,173.56	20,057.67	8,766.00	9,447.03	187,120.91	
SUB-TOTAL			214,359.78	183,414.40	157,552.21	197,988.06	222,177.39	235,586.93	229,335.66	154,698.92	112,967.47	122,761.61	76,998.00	110,088.47	1,319,725.50	

Anexo 5

Comparativo evolución Gastos de mantenimiento por reparaciones año 2022



Anexo 6

Precio de trazabilidad de producción de un cargador frontal en un frente de trabajo

CANTIDAD	UNID	CONCEPTO	PRECIO TRAZABILIDAD (S/. / M3)	TOTAL (400 m3)
1	M3	De material producido	S/ 19,0	S/ 7.600,0
1	M3	De material transportado	S/ 3,1	S/ 1.240,0
		TOTAL (1 día de producción de cargador frontal)		S/ 8.840,0
		1 hora de producción de Cargador Frontal		S/ 736,7

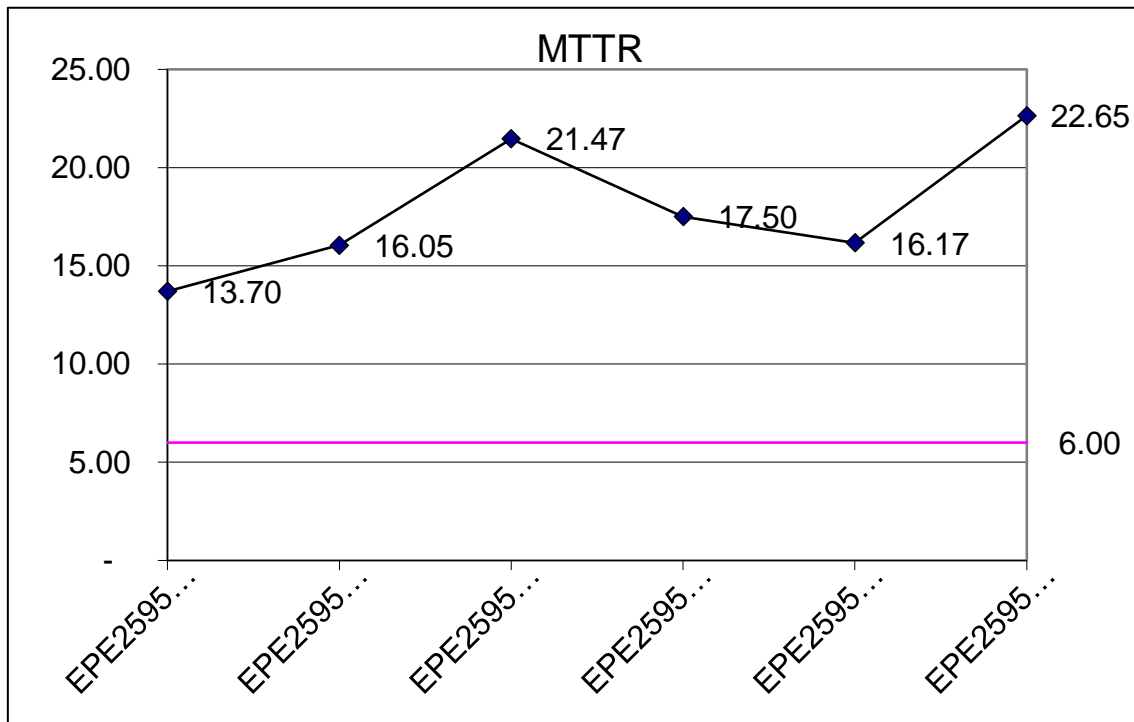
Anexo 7

Disponibilidad Equipo

CENTRO DE COSTO	DESC. EQUIPO	TARGET.	D.E.
EPE25950H1	Cargador Frontal Cat 950H Serie M4T00219	90%	81.00%
EPE25950H2	Cargador Frontal Cat 950H Serie M4T00210	90%	87.99%
EPE25950H3	Cargador Frontal Cat 950H Ser 00877	90%	89.15%
EPE25950H4	Cargador Frontal Cat 950H Ser 00968	90%	81.76%
EPE25950H5	Cargador Frontal Cat 950H Ser M4T014	90%	82.00%
EPE25950H7	Cargador Frontal Cat 950H Ser M4T01822	90%	87.35%
EPE25950H8	Cargador Frontal Cat 950H Ser M4T01823	90%	86.04%

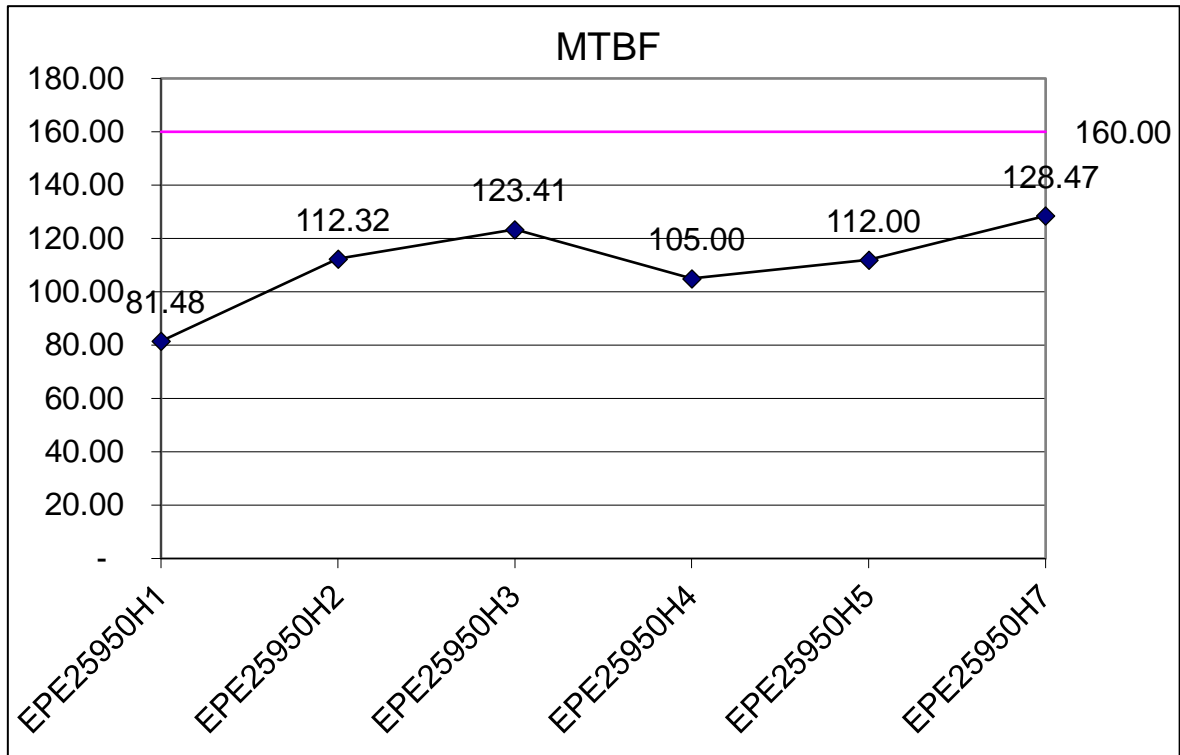
Anexo 8

Tiempo medio de reparaciones



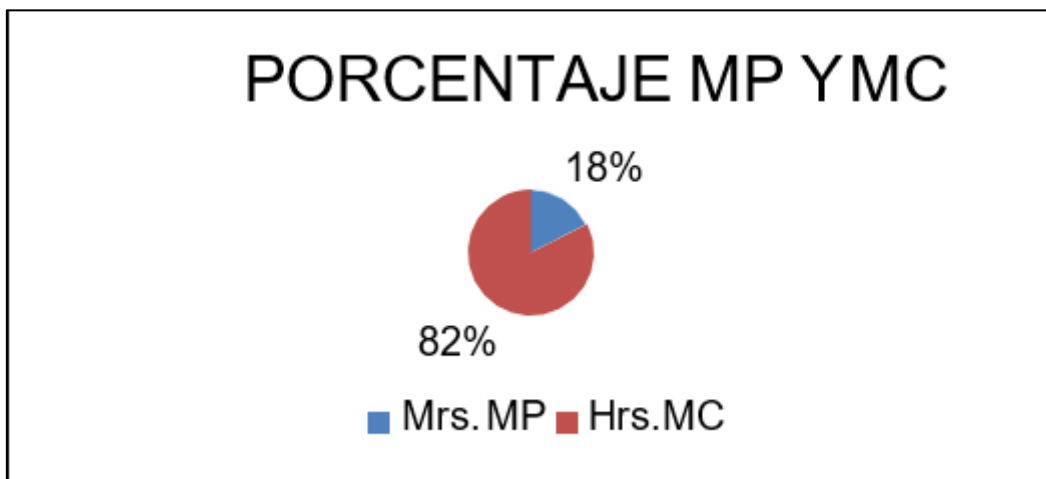
Anexo 9

Tiempo medio entre fallas



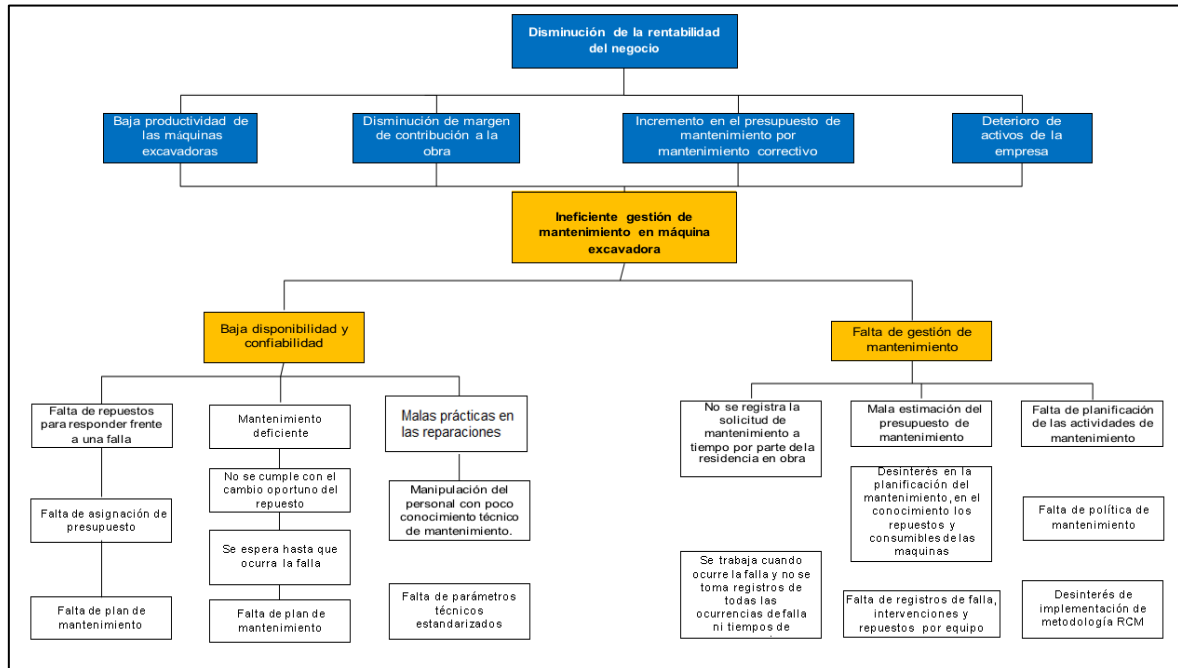
Anexo 10

Balance del mantenimiento preventivo y correctivo



Anexo 11

Árbol de problemas



Anexo 12

Procedimiento de AMEF de los cuatro sistemas

Nombre del Equipo: Excavadora CAT					Equipo de diseño				
Sistema : Carrilería					David Huaman	Fecha :			
								Nº AMEF : 3	
Pieza	Funcion que desempeña	Modo de fallo potencial	Efectos potenciales de fallo	Causas potenciales de fallo	Controles actuales	G	O	D	NPR
Cadena	Trasmite el movimiento para el traslado	Dientes rotos	Equipo sin desplazamiento	Sobre fuerza inclinada	Correctivo	9	6	4	216
		Desgaste de componentes	Equipo sin desplazamiento	por deterioro	correctivo	9	6	4	216
Sprocket	Activa el movimiento	Dientes rotos	Equipo sin desplazamiento	Desgastes internos	correctivo	9	6	6	324
Rodillos	Trasmite el movimiento para el traslado	Fugas de aceites	Fugas de aceite hidráulico	Desgaste de retenes	Inspección Visual	7	8	6	336
		deterioro	Equipo sin desplazamiento	Por incrustacion de piedras	Inspección Visual	7	8	6	336

Nombre del Equipo: Excavadora CAT					Equipo de diseño				
Sistema : Hidráulico					David Huaman	Fecha :			
								Nº AMEF : 2	
Pieza	Funcion que desempeña	Modo de fallo potencial	Efectos potenciales de fallo	Causas potenciales de fallo	Controles actuales	G	O	D	NPR
Bomba hidráulica	Mantiene la presion del sistema	Baja presión	Equipo sin desplazamiento	Desgaste interno	Correctivo	9	2	8	144
		Baja presión	Equipo sin desplazamiento	Falta de presión Hdráulica	correctivo	9	2	8	144
Motores de traslación y giro	Activa el movimiento para la rotacion en su propio eje y su traslado	Baja presión	Motor activa	Desgastes internos	correctivo	9	2	8	144
			No gira la tornameza	Desgastes internos	Correctivo	9	2	8	144
		Rotura de dientes internos	No gira la tornameza	Desgaste de dientes	Correctivo	9	2	8	144
Pistones de Levante de brazo	Levantam el brazo de la excavadora	desgaste de retenes hidráulicos	Fugas de aceite hidráulico	Por rayaduras del vástago	Inspección Visual	6	8	5	240
		Deterioro del vástago	Fugas de aceite hidráulico	Por desprendimiento de piedras	Inspección Visual	6	8	5	240
Pistones de la cuchara	Articulación de la cuchara	desgaste de retenes hidráulicos	Fugas de aceite hidráulico	Por rayaduras del vástago	inspección Visual	6	8	5	240
		Deterioro de los vástagos	Fugas de aceite hidráulico	Por desprendimiento de piedras	Inspección Visual	6	8	5	240
Mangueras Hidráulicas	Permite el paso del fluido hidráulico	Fugas Hidráulicas	Equipo parado	Por rotura y desgaste	inspección Visual	7	9	3	189

Nombre del Equipo: Excavadora CAT				Equipo de diseño					
Sistema : Motor				David Huaman		Fecha : 08/12/2017		Nº AMEF : 1	
Pieza	Funcion que desempeña	Modo de fallo potencial	Efectos potenciales de fallo	Causas potenciales de fallo	Controles actuales	G	O	D	NPR
Cremallera	Rompe la inercia de la volante para arrancar	Rotura de dientes	Motor no arranca	Desgaste de dientes	Inspección Visual	8	6	2	96
		Vibración	Motor no arranca	Desgaste de dientes	Inspección Visual	8	6	2	96
Bendix	Transmite movimiento a la cremallera para el arranque	No hay corriente	Motor no arranca	Bateria Desgastada	Inspección Visual	8	6	2	96
			motor no arranca	Cable de bateria Roto	Correctivo	8	6	3	144
		Rotura de dientes	motor no arranca	Desgaste de dientes	Correctivo	8	6	3	144
		Vibración	motor no arranca	desgaste de dientes	Correctivo	8	6	3	144
		Rotura de horquilla	motor no arranca	Desgaste de Horquilla	Correctivo	8	6	3	144
Tuberías de refrigerante	Traslado de flujo de refrigerante	Fuga de refrigerante	Sobrecalentamiento	Mal diseño	Mtto. Preventivo	8	6	3	144
		Rotura de tubería	Sobrecalentamiento	Corrosión	Inspección Visual	8	4	2	64
Ventilador	Enfria el refrigerante en el radiador	No hay flujo de aire	sobrecalentamiento	Desgaste de rodamiento	inspección Visual	8	4	5	160
		Aspas rotas	sobrecalentamiento	Fatiga por desgaste de Material	Correctivo	8	2	2	32
Anillos de compresión	Mantienen la presion y lubricacion del motor	Baja compresión	Pérdida de potencia	Desgaste de Anillos	Mtto. Preventivo	8	8	4	256
		Motor no comprime	El motor no arranca	Desgaste de Anillos	Inspección Visual	8	8	4	256
			Falla al arrancar	Desgaste de Anillos	inspección Visual	8	8	4	256
Válvula de alimenta	Permite el ingreso de petroleo al siste	Restricción de petroleo	Motor parado	Válvula cerrada	Correctivo	9	3	4	108

Nombre del Equipo: Excavadora CAT				Equipo de diseño		Nº AMEF : 3			
Sistema : Chásis y Gets				David Huaman	Fecha : 08/12/2017				
Pieza	Funcion que desempeña	Modo de fallo potencial	Efectos potenciales de fallo	Causas potenciales de fallo	Controles actuales	G	O	D	NPR
Puntas cuchara	ronpe el material a excavar	Adapter roto	Equipo parado	Mala operación		8	8	3	192
		punta rota	Equipo parado	sobre esfuerzo	correctivo	6	10	3	180
Pluma	soporta el peso de la carga y de la extensión y su traslado principal	Rajadura	Equipo parado	mala operación	correctivo	9	4	3	108
extension	Soporta el peso de la carga	Rajadura	Equipo parado	mala operación	Correctivo	9	4	3	108

Anexo 13

Resultado de NPR según los cuadros AMEF

SUBSISTEMA	NPR	CARACTERISTICA
Rodillos	336	INACEPTABLE
Sprocket	324	INACEPTABLE
Anillos de compresión	256	INACEPTABLE
Pistones de Levante de brazo	240	INACEPTABLE
Pistones de la cuchara	240	INACEPTABLE
Cadena	216	INACEPTABLE
Puntas cuchara	192	REDUCCION DESEABLE
Mangueras Hidráulicas	189	REDUCCION DESEABLE
Ventilador	160	REDUCCION DESEABLE
Bomba hidráulica	144	REDUCCION DESEABLE
Bendix	144	REDUCCION DESEABLE
Motores de traslación y giro	144	REDUCCION DESEABLE
Tuberías de refrigerante	144	REDUCCION DESEABLE
Pluma	108	ACEPTABLE
extension	108	ACEPTABLE
Cremallera	96	ACEPTABLE

Anexo 14

Ponderación de criterios de análisis de criticidad

Frecuencia de fallas		Flexibilidad Operacional	
Elevado mayor a 40 fallas/año	4	No existe opción igual o Existe equipo similar de repuesto	4
Promedio 20-40 fallas/año	3	El equipo puede seguir funcionando	2-3
Buena 10-20 fallas/año	2	Existe otro igual o disponible fuera del sistema (stand by)	1
Excelente menos de 10 fallas/año	1		
		Costo de mantenimiento	
		Mayor o igual a US\$ 2000 (incluye repuestos)	2
		Inferior a US\$ 2000 (incluye repuestos)	1
Impacto Operacional			
Parada total del equipo y repercute a otros equipos o sistemas	10	Impacto a Seguridad Ambiente e Higiene	
Parada parcial del equipo	7-9	Accidente catastrófico	8
Impacta a niveles de producción o calidad por debajo de lo normal	5-6	Accidente mayor serio	6-7
Repercute en costos operacionales asociado a disponibilidad	2-4	Accidente menor e incidente menor	4-5
No genera ningún efecto significativo	1	Cuasiaccidente o incidente menor	2-3
		Desvío	1
		No provoca ningún tipo de riesgo	0

Anexo 15

Escala de referencia

ESCALA DE REFERENCIA	CANT
CRITICO	X>30
IMPORTANTE	20=< X< =30
REGULAR	10=< X< =10
OPCIONAL	X<10

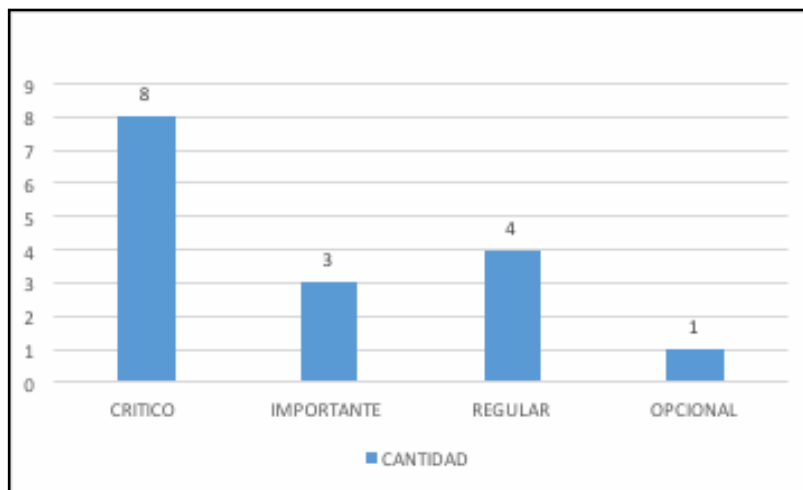
Anexo 16

Cuadro de criticidad

SUBSISTEMA	FRECUENCIA	IMPACTO OPERACIONAL	FELIXIBILIDAD	COSTOS DE MTTO.	IMPACTO SHA	CONSECUENCIA	TOTAL	JERARQUIZACION	PRIORIDAD
Pistones de Levante de brazo	2	8	3	2	2	28	56	CRITICO	ALTA
Pistones de la cuchara	2	8	3	2	2	28	56	CRITICO	
Bomba hidráulica	1	10	4	2	0	42	42	CRITICO	
Bendix	3	4	3	1	0	13	39	CRITICO	
Motores de traslación y giro	1	9	4	2	0	38	38	CRITICO	
Cadena	1	8	4	2	0	34	34	CRITICO	
Anillos de compresión	1	10	3	1	2	33	33	CRITICO	MEDIA
Cremallera	3	3	3	1	0	10	30	CRITICO	
Rodillos	2	6	2	2	0	14	28	IMPORTANTE	
Mangueras Hidráulicas	3	4	1	1	4	9	27	IMPORTANTE	
Puntas cuchara	4	4	1	1	0	5	20	IMPORTANTE	BAJA
Tuberías de refrigerante	2	3	2	1	2	9	18	REGULAR	
Pluma	1	8	2	1	0	17	17	REGULAR	
extension	1	8	2	1	0	17	17	REGULAR	
Sprocket	1	7	2	2	0	16	16	REGULAR	
Ventilador	1	3	3	1	0	10	10	OPCIONAL	

Anexo 17

Gráfico de criticidad de fallas



Anexo 18

Formato de Inspecciones

Mangueras del cilindro					Reductor de jiro			
Pines					Nivel de aceite de motor de jiro			
bocinas					Mangueras y válvula			
Cilindro izquierdo de la pluma					Varilla medidora de aceite			
Cilindro derecho de la pluma					Respirador del motor de jiro			
Vástago izquierdo								
Vástago derecho								
Pines y bocinas								
Reten del cilindro izquierdo								
Reten del cilindro derecho								
Pluma								
Fugas de aceite hidráulico								
SISTEMA HIDRAULICO				OK	X	OBSERVACIONES		
Bomba superior						MOTOR		
Bomba inferior						Nivel de aceite de motor		
Mangueras						Varilla del medidor		
Medidores de presión						Tapón de llenado de aceite motor		
Abrazaderas y pernos						Tapa de balancines (empaquetadura)		
Mangueras de retorno y salida						Manquera de entrada de aire		
Caja de válvulas						Carter del motor		
Válvula de distribución de aceite m. finales						Turbo compresor (turbina)		
Tanque de aceite hidráulico						Filtros de aceite motor		
Tapa del tanque						Filtro de aire primario		
Visor de aceite hidráulico						Filtro de aire secundario		
Válvula de alivio del tanque						Desfogue de aceite de motor		
Tapón de drenaje de aceite hidráulico						Tapa del filtro de aire		
Filtros de aceite hidráulico						Ante filtro de aire		
Fugas de aceite hidráulico						Puerta de protección		
						Fugas de aceite de motor		
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO MOTOR				OK	X	OBSERVACIONES		
Ventilador						SISTEMA ELECTRICO		
Radiador						Batería		
Celdas del radiador						Postes de batería		
Tina de radiador						Bornes de batería		
Tapa del radiador						Cables positivos		
Tanque de reserva de refrigerante						Cable negativo		
Manqueas						Disyuntores o rearmadores		
Caja de termostato						Caía de fusibles		
Poleas del ventilador						Fusibles de reserva		
Guardas						Alternador		
Visor del refrigerante						Polea del alternador		
Fugas de refrigerante						Correas		
						Líneas eléctricas (cables)		
SISTEMA MONITOR				OK	X	OBSERVACIONES		
Temperatura de refrigerante de motor						CABINA DE LA EXCAVADORA		
Temperatura de aceite hidráulico						Parabrisa superior		
Nivel de combustible						Parabrisa inferior		
Pantalla de mensajes						Lava limpia parabrisa		
Sistema de aire acondicionado						Ventana lado derecho y izquierdo		
circulan						Interruptores de luces		
						Asiento ergonómico regulable		
						Luz de cabina		
						Dos conos de seguridad		
						Extintor		
				OBSERVACIONES: _				
MODELO Y MARCA:								
N° DE SERIE:								
SERIE DE MOTOR:								
AÑO DE FABRICACION:								
HOROMETRO:								

Anexo 19

Plan de mantenimiento de Excavadoras

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO EXCAVADORAS CAT						
Nº	ACTIVIDADES	FRECUENCIA	FORMATO	A CARGO	CANTIDAD	H-H
1	Revisión del equipo antes de inicio de jornada	Diaria	Pre- uso	Operador	1	0,2
2	Revisión Mecánica de todos los sistemas	Quincenal	Formato de inspección	Técnico	1	6
3	Programa de mantenimiento preventivos	250 hrs	Cartillas de Mantenimiento	Técnico	1	2
		500 hrs		Técnico	1	2,5
		1000 hrs		Técnico	2	5
		2000 hrs		Técnico	2	8