

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Mecánica



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS EN UNA UNIDAD DE MANTENIMIENTO

Para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico.

Elaborado por

Glicerio Edgar Rodríguez Silva

ID 0009-0008-1238-065X

Asesor

Dr. Ravelo Chumioque José Jaime

ID 0000-0002-9916-3859

LIMA – PERÚ

2024

Citar/How to cite	(Rodríguez, 2024)
Referencia/Reference	Rodríguez, G. (2024). <i>Mantenimiento centrado en la confiabilidad para incrementar la disponibilidad de los equipos en una unidad de mantenimiento</i> . [Trabajo de Suficiencia Profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

Este trabajo es un homenaje a mi madre, quien ha sido mi guía, inspiración y apoyo constante. A lo largo de mi vida, me ha enseñado el valor del esfuerzo, la perseverancia y el aprendizaje en cada dificultad. A ti, mamá, te dedico este trabajo con todo mi corazón, agradecido por tu amor y apoyo incondicional. Este logro es un reflejo de todo lo que me has brindado.

Con amor y gratitud eterna,

Edgar Rodríguez Silva.

Resumen

Durante las décadas de 1980 y 1990, y aún en la actualidad, el área de mantenimiento era percibida como una unidad desorganizada y poco profesional, dirigida por técnicos con escasa capacitación, y vista como una fuente de gastos que debía ser minimizada. Sin embargo, con el tiempo, el área de mantenimiento ha ganado un lugar comparable al de producción, y actualmente, los jefes de mantenimiento cuentan con un nivel gerencial o de superintendencia en sectores como la minería. Términos como RCM, confiabilidad, disponibilidad y mantenimiento productivo total son ahora comunes en la industria. Aunque la implementación inicial de técnicas RCM requiere una inversión considerable, el retorno de esta inversión se obtiene con el tiempo, transformándose en un gasto más manejable a medida que se estabiliza. En este estudio, comenzamos con un levantamiento de información detallada sobre los equipos, similar a un historial médico, recopilando datos sobre tiempos de paradas por mantenimiento preventivo y correctivo. Posteriormente, nos centramos en los equipos críticos, realizando los cálculos correspondientes y analizando los datos obtenidos. Los resultados fueron positivos, demostrando que un proceso RCM puede alcanzar estabilidad en un plazo de dos a tres años. En nuestro caso, la implementación de RCM permitió aumentar la disponibilidad de los equipos de 82.1 % a 91.1% en tan solo un año.

Abstract

During the 1980s and 1990s, and even today, the maintenance area was perceived as a disorganized and unprofessional unit, led by technicians with little training, and seen as a source of expenses that needed to be minimized. However, over time, the maintenance area has gained a place comparable to that of production, and currently, maintenance managers hold a managerial or superintendency level in sectors such as mining. Terms like RCM, reliability, availability, and total productive maintenance are now common in the industry.

Although the initial implementation of RCM techniques requires considerable investment, the return on this investment is obtained over time, transforming into a more manageable expense as it stabilizes. In this study, we began with a detailed information gathering on the equipment, like a medical history, collecting data on downtime for preventive and corrective maintenance. Subsequently, we focused on the critical equipment, performing the necessary calculations and analyzing the obtained data. The results were positive, demonstrating that an RCM process can achieve stability within a period of two to three years. In our case, the implementation of RCM allowed us to increase equipment availability from 82.1% to 91.1% in just one year.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	iv
Abstract	v
Tabla de Contenido	vi
Lista de Tablas	ix
Lista de Figura.....	x
Lista de Gráficos.....	xi
Capítulo I. Introducción.....	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Descripción del problema de investigación	1
1.2.1 Formulación del problema.....	2
1.2.2 Justificación e importancia de la investigación	2
1.3 Objetivos del estudio	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 Antecedentes investigativos	4
Capítulo II. Marco teórico y conceptual	5
2.1 Marco teórico.....	5
2.1.1 Fundamentos de mantenimiento	5
2.1.2 Tipos de mantenimiento.....	8
2.1.3 Sistema Kantiano de mantenimiento	16
2.1.4 Unidad de producción.....	17
2.1.5 Unidad de mantenimiento	19
2.1.6 Sistema integral de mantenimiento	20
2.2 Marco conceptual	21
2.2.1 Definición de Mantenimiento Centrado en la Confiability (RCM)	21

2.2.2 Principios del RCM.....	22
Capítulo iii. hipótesis y operacionalización de variables	24
3.1. Hipótesis general.....	24
3.2. Hipótesis específicas	24
3.3 Variables y operacionalización de las variables.....	24
Capítulo IV. Metodología de la investigación	25
4.1 Unidad de análisis	25
4.2 Tipo, Enfoque, nivel y diseño de investigación.	25
4.2.1 Tipo de investigación.....	25
4.2.2 Enfoque.....	25
4.2.3 Nivel o alcance.	25
4.2.4 Diseño de Investigación.....	26
Capítulo V. Desarrollo del Trabajo	27
5.1 Análisis de criticidad de equipos.....	27
5.1.1 Equipos críticos:	27
5.1.2 Equipos importantes:	27
5.1.3 Equipos prescindibles:	27
5.2 Indicadores de gestión de equipos	29
5.2.1 Ecuaciones de confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad:	29
a. Confiabilidad R (t).....	29
b. Mantenibilidad (M)	29
Capítulo VI Análisis y discusión de resultados	41
6.1. Confiabilidad antes de aplicar RCM.....	41
6.1.1 Confiabilidad después de aplicar RCM.....	41
6.1.2 Mejoras observadas:	41
6.1.3 Posibles causas de la mejora:	41
6.1.4 Análisis de riesgos:.....	42
6.1.5 Optimización de recursos:	42

6.1.6 Impactos en costos y producción:.....	42
6.1.7 Mejora de la producción:	42
6.1.8 Posibles áreas de mejora:	42
6.1.9 Mantenibilidad antes y después de aplicar RCM.	43
6.2 Definición de disponibilidad:	43
6.2.1 Meta establecida:.....	43
6.2.2 Meta inicial:.....	43
6.2.3 Factores involucrados:	44
6.2.4 Resultado final:	44
6.2.5 Benchmarking:	44
6.2.6 Antecedentes:.....	44
Conclusiones	45
Recomendaciones	46
Referencias bibliográficas	48
Anexos	50

Lista de Tablas

Tabla 1 Relación de máquinas y equipos de la Unidad de mantenimiento.....	2
Tabla 2 Variables y operacionalización de las variables	24
Tabla 3 Disponibilidad antes de aplicar RCM.....	30
Tabla 4 Disponibilidad después de aplicar RCM	32
Tabla 5 Criticidad de los equipos	33
Tabla 6 Datos de información AMEF de los sistemas del Cargador Frontal.....	35

Lista de Figura

	Pág.
Figura 1 Relación entre los objetivos de la organización, el proceso de producción y el mantenimiento.....	6
Figura 2 Sistema típico de mantenimiento.....	8
Figura 3 Tipos de mantenimiento.....	8
Figura 4 Elementos estructurales de ingeniería de fábricas	9
Figura 5 Mantenimiento preventivo	10
Figura 6 Mantenimiento Proactivo (MPA)	11
Figura 7 Niveles y categorías del mantenimiento bajo enfoque sistémico	12
Figura 8 Mantenimiento Clase Mundial (MCM)	13
Figura 9 Mantenimiento centrado en la Confiabilidad.....	13
Figura 10 Funciones básicas del mantenimiento.....	16
Figura 11 Elementos de un sistema kantiano.....	17
Figura 12 Unidad de producción	18
Figura 13 Unidad básica de Producción.....	19
Figura 14 Unidad elemental de mantenimiento	20
Figura 15 Sistema Integral de mantenimiento y operación.....	21

Lista de Gráficos

Gráfico 1 Confiabilidad antes de RCM	31
Gráfico 2 Mantenibilidad antes y después de aplicar RCM	31
Gráfico 3 Disponibilidad después de aplicar RCM	33

Capítulo I. Introducción

1.1 Generalidades

En la actualidad, la fiabilidad y disponibilidad de los sistemas industriales y de infraestructura son factores fundamentales para asegurar su funcionamiento óptimo y la minimización de costos operativos. La creciente demanda por mejorar estos aspectos ha llevado a la implementación de diversas técnicas de mantenimiento preventivo y predictivo. En este contexto, una de las metodologías más efectivas es el RCM (Reliability-Centered Maintenance), que se centra en la gestión estratégica del mantenimiento para maximizar la disponibilidad y fiabilidad de los equipos, al mismo tiempo que se optimizan los costos asociados. Este estudio tiene como objetivo explorar cómo la aplicación de técnicas RCM puede incrementar la disponibilidad de los sistemas y equipos en diferentes industrias. A través de un análisis detallado de sus principios y su implementación, se busca identificar los beneficios tangibles de incorporar estas técnicas dentro de un plan de mantenimiento integral. La investigación abordará los procesos involucrados en la selección de estrategias de mantenimiento, la evaluación de los riesgos asociados con los fallos y la mejora de la eficiencia operativa. El propósito principal de esta tesis es proporcionar una guía sólida para organizaciones que deseen adoptar RCM como una estrategia para la mejora de la disponibilidad, garantizando así un rendimiento más consistente y rentable de sus operaciones.

1.2 Descripción del problema de investigación

El área de mantenimiento de la empresa realiza la medida de indicadores de desempeño, esto es posible mediante el registro de fallas que ocurren durante el proceso. Además del registro de la hora de operación, horas de reserva y horas de mantenimientos que se realiza en cada equipo. También, se realiza el impacto que genera esta falla que origina una disminución de velocidad de procesamiento y una parada total del proceso. Este estudio se realizó en la zona norte de Lima en una unidad de mantenimiento con cargadores frontales marca Caterpillar.

Se realizó un análisis FODA previamente y un análisis de causa y efecto para poder presentar un estado de la situación actual.

Asimismo, se realizó un análisis de criticidad del sistema para poder determinar problemas actuales en la empresa.

Tabla 1

Relación de máquinas y equipos de la Unidad de mantenimiento

MAQUINAS O EQUIPOS	CODIGO	POTENCIA	MARCA	CANTIDAD
Cargador frontal	CAT966H	283 kW.	Caterpillar	12
Camiones	FMX500	1600 kW	Volvo	10
Camionetas 4x4 Hi-Lux	2KD	188 hp	Toyota	10
Grupo electrógeno	C1.1	9.5 KvA	Caterpillar	02
Compresoras	185	49 Hp	Suplir	03
Excavadoras	CAT320	118KW	Caterpillar	05
Perforadoras	RH5711	2100 l/min	Varios	20
Taladros	-----	-----	varios	20
Compactadores vibratorios	CSC11GC	83KW	CAT	01
Montacargas	2.5 TD	2.5 TON	DOSSIER	02
Grúas	UR-V805	80 TON	UNIC	01
Ómnibus transporte de Personal	9800	-----	VOLVO	01

Esta tabla muestra el inventario físico de la unidad de mantenimiento

Fuente: propia

1.2.1 Formulación del problema

1.2.1.1 Problema general

¿De qué manera el mantenimiento centrado en la confiabilidad mejora la poca disponibilidad de los equipos en la empresa AL PIO SAC?

1.2.1.2 Problemas específicos

- ¿Existirá un método científico para llevar un mantenimiento ordenado de los equipos?
- ¿La productividad se vería afectada por las constantes paradas de equipos y unidades pesadas sin el debido mantenimiento?

1.2.2 Justificación e importancia de la investigación

Para Duffuaa (2007), quien afirma: "Las organizaciones manufactureras y de servicio se han visto sometidas a una exigencia y presión para ser competitivas este

nuevo entorno ha obligado a los gerentes e ingenieros a optimizar todo el sistema y el mantenimiento como tal no escapa a esta exigencia" (P.19).

El problema es la cantidad excesiva de horas de maquinaria parada ya sea por mantenimiento correctivo o por la espera en la compra de repuestos.

Este problema en sí está causando baja en la productividad y en la eficiencia por la que es necesario su análisis y resolución.

Esta investigación es viable porque la empresa ya preparó un plan para la ejecución de este estudio y a la par destinó recursos: personal capacitado e ingenieros.

Este estudio nos permite obtener datos precisos y confiables, los cuales han sido conseguidos de históricos de fallas y paradas de equipos.

Este análisis me permitió liderar a un equipo conformado por técnicos e ingenieros de tal Manera que me permitió poner en práctica mis habilidades blandas en la empresa, tanto humanas como profesionales, pues es mi aspiración demostrar con este proyecto que tengo la capacidad de innovar y proponer soluciones efectivas en las unidades de mantenimiento.

1.3 Objetivos del estudio

1.3.1 Objetivo general

Proponer el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para la mejora de la disponibilidad de equipos en una unidad de mantenimiento.

1.3.2 Objetivos específicos

- a. Plantear Un procedimiento para llegar a una disponibilidad cercana al 95% de tal manera que los costos de mantenimiento no sean muy altos.
- b. Levantar un inventario detallado de Activos como equipos y vehículos.

1.4 Antecedentes investigativos

Salas (2021) logró mejorar la confiabilidad operacional de la gestión de mantenimiento en la flota de tractores de orugas D11T de la empresa minera de Tacna, alcanzó los valores de disponibilidad física del 87.63%, en el año 2017, hasta valores de 91.58%, en el año 2019, que corresponde al 3.95% de mejora en un periodo de tiempo de dos años, cuando obtuvo así un plan de mantenimiento basado en las tecnologías RCM y PMO óptimo para la flota de tractores Caterpillar D11T.

Mora (2009) contribuyó con el aumento de la mejora de la confiabilidad mediante el incremento de la demanda y del mercado real y potencial, con el fin de aumentar el tiempo útil de funcionamiento al requerir más producción. Esto se logró Mediante la utilización del ready time, con lo cual se acrecienta la disponibilidad (disponibilidad es el resultado de un cálculo numérico que se obtiene a partir de la confiabilidad y de la mantenibilidad, bajo estándares internacionales), porque se eliminan inversiones en mantenibilidad, bajo estándares internacionales, pues se eliminan inversiones en procesos que no son estratégicos y que no genere utilidades que compensen la inversión de capital. Mejora la gestión de inventarios y, también, el manejo de repuestos e insumos para mantenimiento y producción. Además, la disponibilidad también crece cuando se optimizan la preservación de los insumos, los procedimientos de adquisición de elementos necesarios para el mantenimiento, el manejo de proveedores, y las entregas oportunas de materiales y tiempos de servicio. En síntesis, se mejora la disponibilidad, mediante la eliminación de fallas, con la reducción de los tiempos entre reparación y mantenimientos planeados, pero con una vigilancia muy estricta del Beta (se le conoce como el factor de forma en que los equipos fallan). Y con el monitoreo permanente de la máquina para que no aparezcan fallas que ya se controlan desde antes de ampliar los periodos entre mantenimiento preventivos o predictivos, esto ocurre al eliminar o disminuir los tiempos logísticos requeridos para mantenimiento o producción.

Capítulo II. Marco teórico y conceptual

2.1 Marco teórico

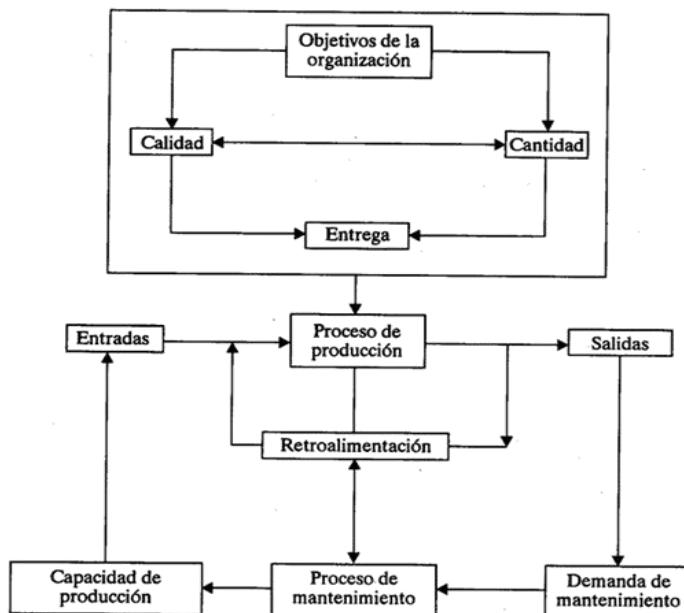
2.1.1 Fundamentos de mantenimiento

Duffuaa Raouf (2007) define que el mantenimiento se entiende como el conjunto de acciones destinadas a conservar o restaurar un equipo o sistema a un estado en el cual pueda cumplir con sus funciones asignadas. Este factor es esencial para asegurar la calidad de los productos y puede usarse como una estrategia competitiva efectiva. Las irregularidades en el rendimiento de los equipos generan una variabilidad excesiva en estos, lo que conduce a defectos de producción. Para alcanzar un nivel de calidad elevado, es fundamental que el equipo de producción funcione dentro de los parámetros especificados, lo cual puede lograrse a través de intervenciones de mantenimiento a tiempo.

Así mismo, un sistema se define como un conjunto de elementos que colaboran en equipo para alcanzar un objetivo común. El mantenimiento puede considerarse un sistema en sí mismo, compuesto por una serie de actividades que se desarrollan en paralelo con los sistemas de producción. En la Figura 1 se presenta un diagrama que muestra las relaciones entre los objetivos de la organización, el proceso productivo y el mantenimiento. Los sistemas de producción, por lo general, se encargan de transformar insumos, tales como materias primas, mano de obra y procesos, en productos que satisfacen las demandas de los clientes.

Figura 1

Relación entre los objetivos de la organización, el proceso de producción y el mantenimiento.



Fuente: Duffuaa, R. (2007) *Sistema de mantenimiento planeación y control*.

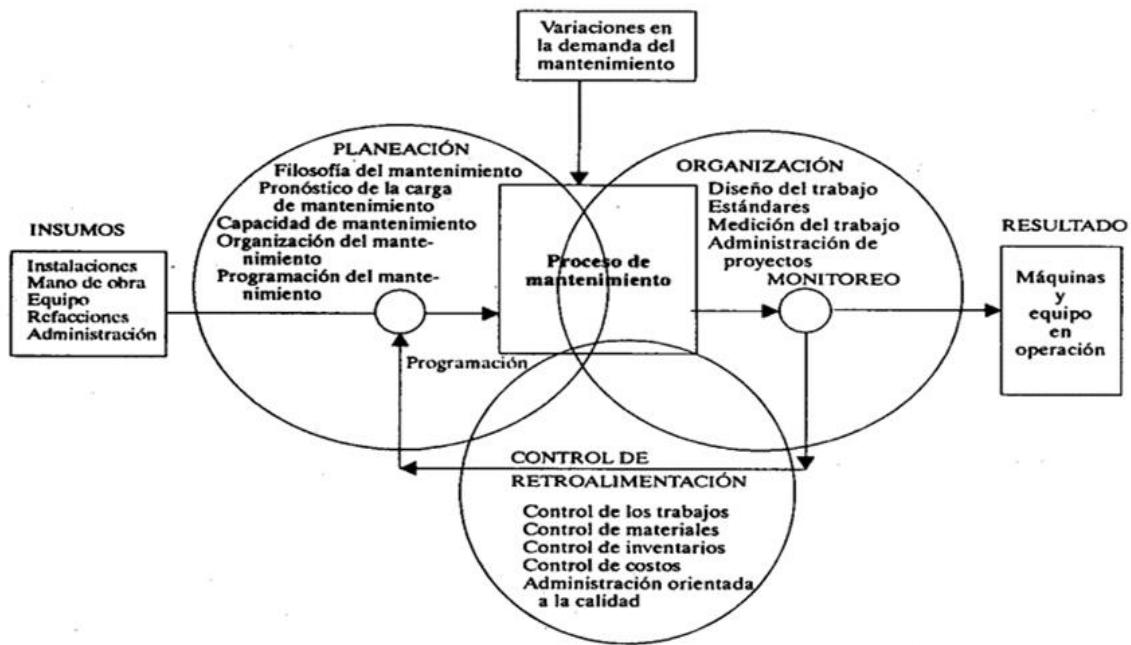
La principal salida de un sistema de producción son los productos finales, mientras que una salida secundaria es la ocurrencia de fallas en el equipo. Esta salida secundaria crea una necesidad de mantenimiento. El sistema de mantenimiento recibe esto como una entrada, a la cual añade conocimiento especializado, mano de obra y repuestos, con lo que se logra así restaurar el equipo a un buen estado operativo que permite una producción continua. El objetivo principal de un sistema de producción es maximizar las ganancias aprovechando las oportunidades del mercado, mientras que un objetivo secundario se centra en los aspectos técnicos y económicos del proceso de transformación. Los sistemas de mantenimiento también contribuyen a alcanzar estos objetivos al aumentar las utilidades y mejorar la satisfacción del cliente. Esto se logra al reducir al mínimo el tiempo de inactividad de la planta, mejorar la calidad, incrementar la productividad y cumplir con la entrega puntual de pedidos a los clientes. Aunque los sistemas de producción han sido optimizados y estudiados ampliamente como un sistema integral, es evidente que esta misma tendencia debe aplicarse también en el mantenimiento.

Es cierto que el mantenimiento es un aspecto crucial en una amplia variedad de organizaciones, no solo en el sector manufacturero, también en los servicios. En empresas como hospitales, donde los equipos médicos son esenciales para salvar vidas, el mantenimiento es fundamental para asegurar la continuidad operativa y la seguridad del paciente. Por eso, la planeación y el control adecuados de los sistemas de mantenimiento contribuyen a evitar fallas, optimizar recursos y reducir costos en equipos críticos, desde máquinas de rayos X hasta sistemas de monitoreo y soporte vital. De la misma manera, en las organizaciones de servicios como bancos o instituciones educativas, el mantenimiento de infraestructura y tecnología asegura un servicio continuo y una experiencia satisfactoria para los usuarios. Los conceptos y técnicas de mantenimiento descritos son, por lo tanto, universales y pueden aplicarse a cualquier organización que necesite gestionar y optimizar sus recursos y procesos internos, lo cual expande el impacto de estas prácticas más allá del sector industrial.

Un sistema de mantenimiento puede verse como un modelo sencillo de entrada y salida. Las entradas de dicho modelo son mano de obra, administración, herramientas, refacciones, equipos, etc., y la salida está conformada por los equipos operativos, confiables y bien configurado para lograr la operación planeada de la planta. Esto nos permite optimizar los recursos para aumentar al máximo las salidas de un sistema de mantenimiento. En la Figura 2, se muestran un sistema típico de mantenimiento, en donde se muestran las actividades necesarias para hacer que este sistema sea funcional, a saber, planeación, organización y control. Este Capítulo presenta los componentes de un sistema de mantenimiento que necesita planearse, organizarse y optimizarse a fin de incrementar sus salidas y lograr la mejor utilización de los recursos (Pág. 29 - 32).

Figura 2

Sistema típico de mantenimiento.



Fuente: Duffuaa, R. (2007) *Sistema de mantenimiento planeación y control*.

2.1.2 Tipos de mantenimiento

Figura 3

Tipos de mantenimiento.



Fuente:<https://ingenieromarino.com/mantenimiento-del-buque-10-parte-introduccion-al-planeamiento-de-mantenimiento/>

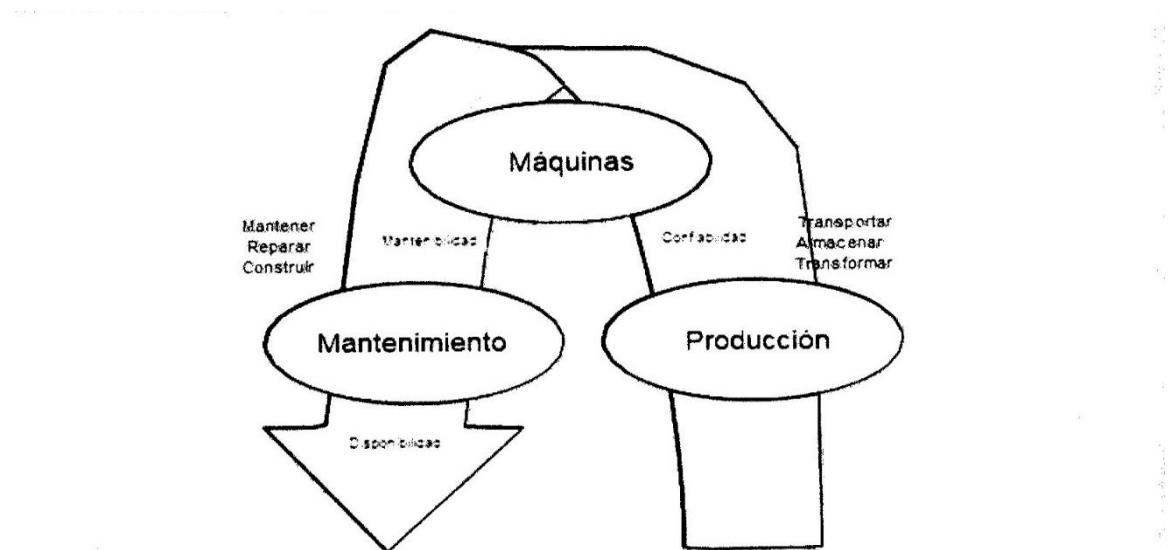
2.1.2.1 Mantenimiento preventivo

Gmao (2024) Expone en su tema Cualquier compañía con activos comprende la relevancia de conservarlos en óptimas condiciones para poder continuar produciendo beneficios. No obstante, no siempre resulta sencillo garantizar que cada máquina y dispositivo tecnológico opere correctamente. Por lo tanto, el mantenimiento preventivo es un procedimiento esencial para asegurar el correcto funcionamiento de los equipos de tu compañía. El mantenimiento preventivo es un procedimiento que lleva a cabo un cuidado constante en todo el equipo productivo antes de que se manifiesten averías. En contraposición al mantenimiento correctivo, este tipo de mantenimiento persigue conservar todos los activos en óptimas condiciones para prevenir el período de parada que se produce cuando una maquina se deteriora y necesita mantenimiento.

Si esto parece ser un problema habitual en tu compañía o equipo de mantenimiento, entonces deberías considerar implementar un plan de mantenimiento preventivo para asegurar el correcto desempeño de tus activos. En este artículo, te proporcionaremos una mejor comprensión de qué consiste el mantenimiento preventivo y de qué manera puede contribuir a optimizar las operaciones de tu compañía (Pág. 1-2).

Figura 4

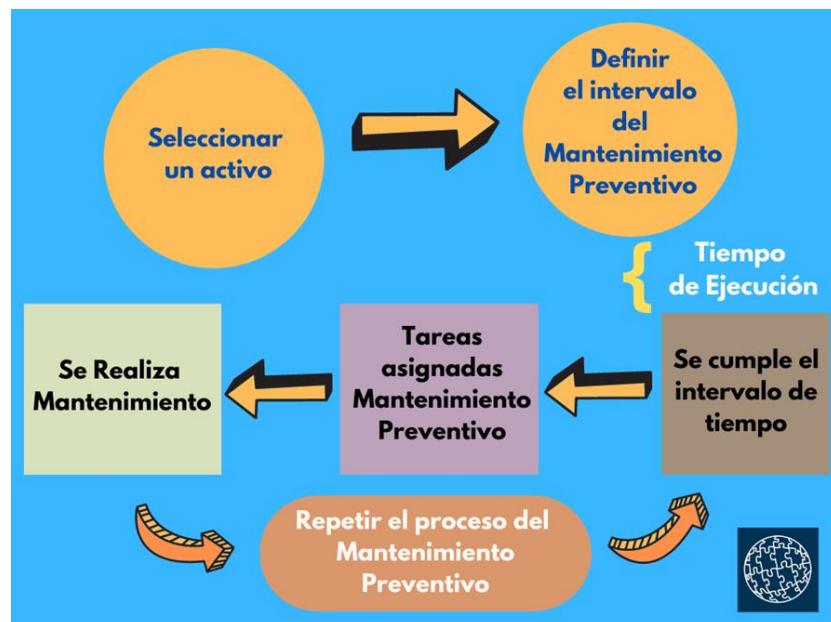
Elementos estructurales de ingeniería de fábricas



Fuente: Mora A. (2009) Mantenimiento, planeación, ejecución y control.

Figura 5

Mantenimiento preventivo



Nota: Fuente: <https://www.sicma21.com/guia-del-mantenimiento-preventivo-industrial/>

2.1.2.1.1 Tipos de mantenimiento preventivo.

Sigma 21. Afirma que se llevan a cabo labores de mantenimiento preventivo para prever y evitar las fallas de los equipos. Estas labores de prevención deben llevarse a cabo en todas las partes y elementos con patrones de error asociados con el tiempo.

Es crucial entender que ningún tipo de mantenimiento preventivo es superior a otro. Adopta las sugerencias del manual y del fabricante para establecer el tipo de mantenimiento que requiere tu dispositivo. Por lo tanto, el mantenimiento preventivo se clasifica en las siguientes partes Pág. (4)

Figura 6

Mantenimiento Proactivo (MPA)



Fuente:<https://esp.reliabilityconnect.com/mantenimiento-proactivo-cuidados-esenciales-de-la-maquinaria>

Mantenimiento basado en el tiempo.

Sigma21 Establece que es beneficioso establecer un plan de mantenimiento mensual o anual que respete las sugerencias del fabricante para la revisión y limpieza de los equipos, con el fin de mantener el control. Además de estas sugerencias, debes considerar que los equipos más vitales para tu compañía necesitan ser revisados con regularidad para asegurar el máximo rendimiento posible. Algunos ejemplos de mantenimiento temporal podrían ser el control del aire acondicionado durante uno o dos meses de verano, la sustitución de sal para sistemas de agua blanda y la limpieza de los conductos de ventilación para acatar las regulaciones de salud al menos dos veces al año. Al elaborar un plan de

mantenimiento preventivo basado en el tiempo, o al determinar qué incorporar al mismo, considerar los servicios, equipos, herramientas y tecnología fundamentales que tu empresa necesita para prosperar. Estos componentes deben ser evaluados con regularidad para asegurar que la compañía no sufra pérdidas financieras en este aspecto. Lo último que se desea realizar es clausurar por varios días a causa de un inconveniente que podría haberse prevenido con un poco de organización.

Para respaldar el mantenimiento basado en el tiempo, también resulta beneficioso conservar anotaciones exhaustivas sobre las fallas y problemas previos de las herramientas y equipos, con el fin de tener una mejor comprensión de qué sistemas y equipos podrían requerir un cuidado extra Pág. (6).

Figura 7

Niveles y categorías del mantenimiento bajo enfoque sistémico



Fuente: Mora A. (2009) Mantenimiento, planeación, ejecución y control.

Figura 8

Mantenimiento Clase Mundial (MCM)

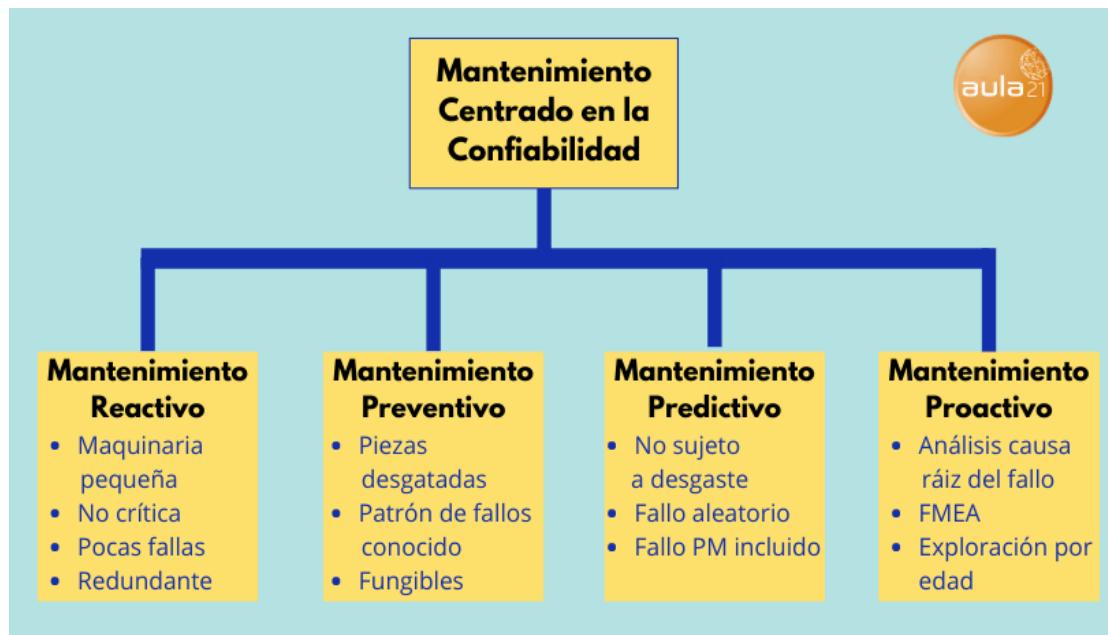
GESTIÓN MANTENIMIENTO CLASE MUNDIAL



Fuente: <https://www.monografias.com/trabajos98/mantenimiento-clase-mundial>

Figura 9

Mantenimiento centrado en la Confiabilidad



Fuente:<https://www.cursoaula21.com/que-es-el-mantenimiento-centrado-en-la-confiabilidad-rcm/>

a. Mantenimiento basado en el uso

Sigma21. Recalca que, si su compañía emplea ciertos equipos o maquinaria diariamente, resulta beneficioso realizar un seguimiento del uso (esto es, monitores de equipos, horas de operación, ciclos de producción), especialmente si el equipo no genera automáticamente boletos o alertas cuando se ha llegado a un cierto número de horas de operación. Esto se denomina mantenimiento orientado al uso. Tanto si se refiere a un cambio de aceite en un vehículo como a una pieza de maquinaria vital que ha cumplido X horas, estar informado sobre el cuidado y mantenimiento correctos asegurará un uso prolongado de los equipos de gran relevancia. Pág. (5-6).

2.1.2.2 Mantenimiento predictivo

Gmao (2024b) Sostiene que El mantenimiento predictivo, potenciado por los progresos tecnológicos, se caracteriza por su método anticipatorio, fundamentado en la utilización de datos y análisis para anticipar fallos antes de que ocurran. Este enfoque se fundamenta mayoritariamente en instrumentos de seguimiento constante y en tecnologías de análisis predictivo, como la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático, para valorar el estado operativo de los equipos en tiempo real. El mantenimiento predictivo emplea sensores y el Internet de las Cosas (IoT) para recolectar información diversa acerca del funcionamiento de las máquinas, como la vibración, la temperatura, la presión y otros parámetros. Estos datos posteriormente son examinados por algoritmos avanzados para identificar irregularidades o señales precoces de fallo, posibilitando de esta manera intervenciones orientadas antes de que los equipos sufren fallos. Por ejemplo, en el ámbito energético, las turbinas eólicas cuentan con sensores que supervisan de manera constante su condición, lo que facilita un mantenimiento predictivo que mejora la generación de energía y disminuye los paros no programado. Beneficio financiero y eficacia operativa Una de las mayores fortalezas del mantenimiento predictivo radica en su habilidad para disminuir considerablemente los gastos de mantenimiento, evitando reparaciones costosas y largos períodos de producción. Además, posibilita incrementar la eficiencia en las operaciones, prolongando la durabilidad de los equipos y disminuyendo los costos asociados a repuestos y energía. No obstante, la implementación de esta estrategia demanda una considerable inversión inicial en tecnologías punteras y una competencia analítica

sofisticada, lo que podría suponer un obstáculo para ciertas compañías menos preparadas tecnológicamente Pág. (4-7).

2.1.2.3 Mantenimiento Productivo Total (TPM)

García (2003). Afirma que el Mantenimiento Productivo Total (TPM, por sus siglas en inglés) es un modelo de gestión de mantenimiento que busca involucrar al personal de producción en el cuidado y mantenimiento de los equipos. Este enfoque implica que los operadores asuman responsabilidades sobre tareas básicas de mantenimiento y la resolución de pequeños problemas en los equipos que utilizan habitualmente.

Las actividades que suelen delegarse a los operadores incluyen:

- - Limpieza.
- - Lubricación.
- - Ajuste de tornillos.
- - Monitoreo, lectura y registro de parámetros.
- - Resolución de fallos menores.

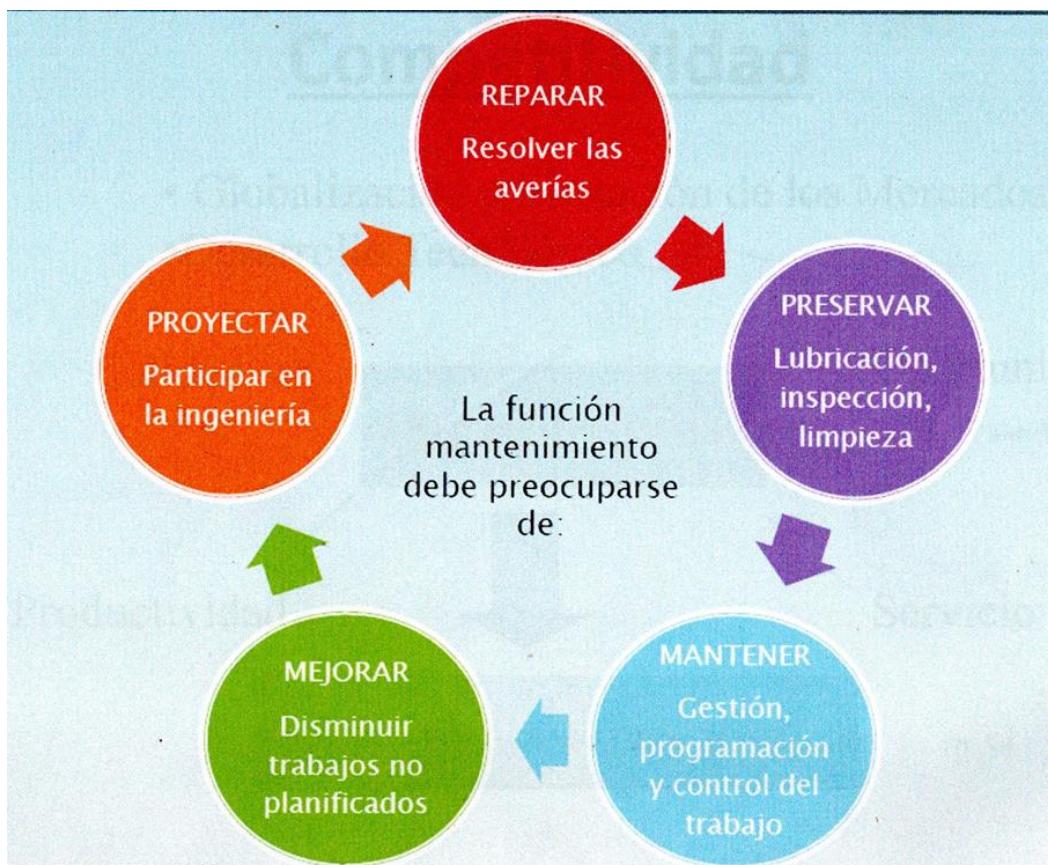
La implementación del TPM en el área de producción puede ser uno de los proyectos clave para optimizar el mantenimiento en una empresa. Sus principales beneficios incluyen:

- Mayor compromiso del operador con el cuidado y conocimiento de las máquinas que utiliza.
- Reducción significativa en el número de fallos y averías.
- Disminución en el consumo de repuestos.
- Reducción del personal necesario en el departamento de mantenimiento.

En resumen, una implementación efectiva del TPM permite reducir costos, aumentar la producción y mejorar la disponibilidad de los equipos pág. (188-189).

Figura 10

Funciones básicas del mantenimiento



Fuente:<https://www.monografias.com/trabajos98/mantenimiento-clase-mundial/mantenimiento-clase-mundial>

2.1.3 Sistema Kantiano de mantenimiento

Mora (2009). Afirma que el enfoque sistémico planteado por Kant sugiere que todo fenómeno puede ser estudiado y comprendido, ya que define un sistema como una estructura compuesta por tres elementos principales: personas, artefactos y entorno.

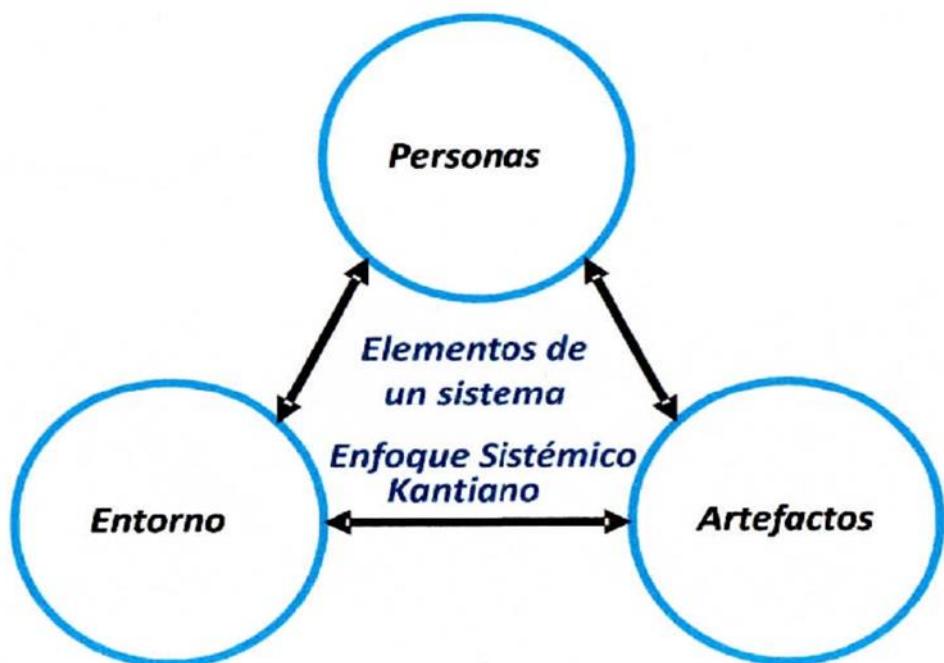
Las personas son esenciales en cualquier sistema, pues son ellas quienes lo hacen existir y le confieren un carácter real en un contexto específico, tanto a nivel físico como mental. En este sentido, el mantenimiento puede considerarse un sistema mental que se construye intelectualmente por los seres humanos. Dentro de un sistema kantiano, los artefactos incluyen elementos como máquinas, componentes, sistemas de producción, herramientas, utensilios, líneas de fabricación, documentos (como órdenes de trabajo o historiales de equipos),

materias primas, insumos, repuestos, sistemas de información, entre otros. Estos son los elementos tangibles necesarios para realizar tareas de mantenimiento.

El entorno, como tercer componente de un sistema kantiano, tiene un carácter mental o intelectual y se refiere a los espacios donde se desarrolla la operación del sistema. Estos incluyen los lugares donde están ubicadas las máquinas que posibilitan la producción de bienes o servicios (Chiavenato, 2005). El enfoque kantiano permite identificar y analizar las relaciones existentes entre los distintos elementos de un sistema, ya sea real o mental. En el contexto del mantenimiento, se destacan diversos elementos interconectados, como las personas, que pueden ser usuarios directos de los equipos de producción, productores o encargados de preservar los activos, comúnmente denominados mantenedores Pág. (45-46).

Figura 11

Elementos de un sistema kantiano



Fuente: Mora, A. (2009). *Mantenimiento planeación, ejecución y control*

2.1.4 Unidad de producción.

Mora (2009). Enuncia que, al aplicar el enfoque kantiano en un sistema básico de producción, se identifican tres elementos principales: los productores (personas), las fábricas (entorno) y las máquinas (artefactos). Estos interactúan entre sí para posibilitar la producción industrial de bienes y/o servicios.

El objetivo principal de un sistema de producción es generar valor a través de tres acciones fundamentales: transformación, transporte y almacenamiento. Estas acciones suelen presentarse combinadas y es raro encontrarlas de manera aislada en los procesos industriales. Por ejemplo, en la generación de energía eléctrica mediante centrales hidráulicas, la acción central parece ser la transformación. Sin embargo, también es necesario almacenar y transportar la energía como parte integral de la producción. En una fábrica textil, aunque la transformación es la acción predominante, el almacenamiento y el transporte también son esenciales para completar la elaboración de textiles o productos derivados. De manera similar, en una oficina estatal que registra nacimientos y otros actos civiles, la acción principal es el almacenamiento de información. No obstante, esta información debe ser transformada y transportada para que los ciudadanos puedan utilizarla. En un sistema de transporte de mercancías, el almacenamiento también se desarrolla de forma simultánea al transporte Pág. (47).

Figura 12

Unidad de producción

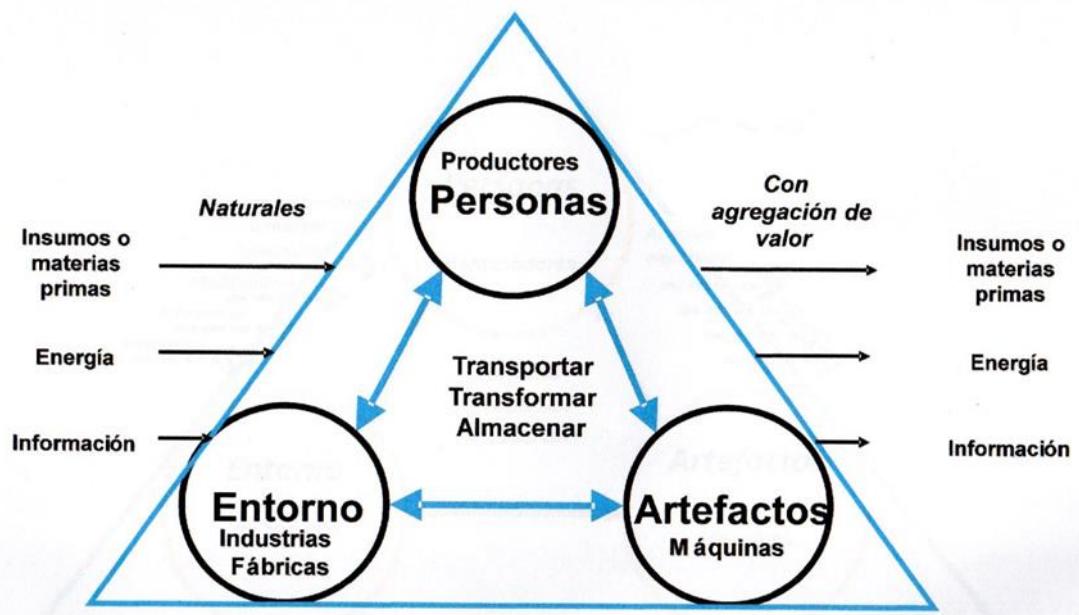
Sistema de agregación de valor fabril, empresarial o de servicios.



Fuente: Mora, A. (2009). *Mantenimiento planeación, ejecución y control*

Figura 13

Unidad básica de producción.



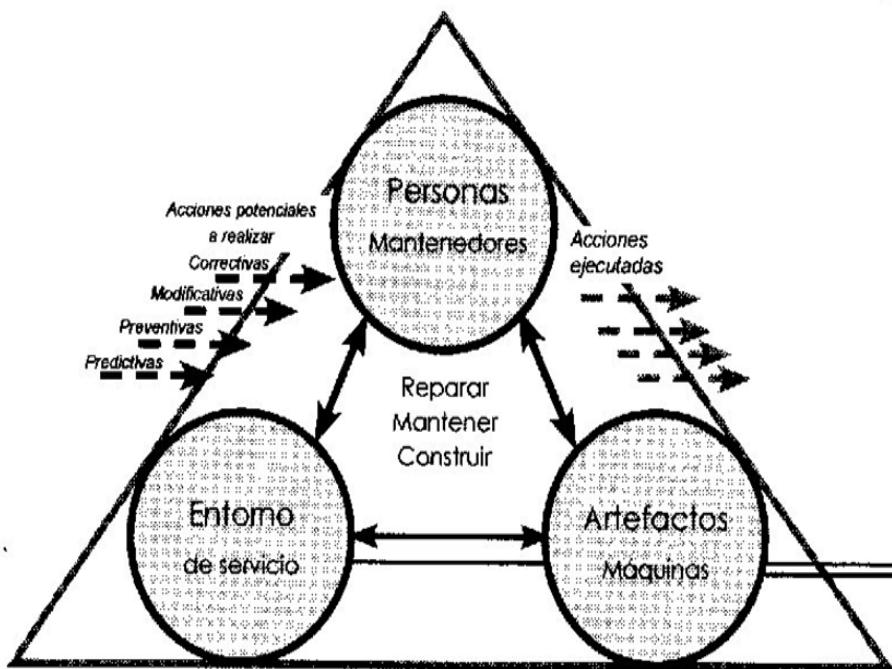
Fuente: Mora A. (2009) Mantenimiento, planeación, ejecución y control.

2.1.5 Unidad de mantenimiento

Mora (2009). Afirma que el enfoque sistémico, aplicado al mantenimiento, reconoce tres componentes clave: los mantenedores (personas), las máquinas o equipos industriales (artefactos) y los lugares físicos donde se llevan a cabo los servicios de mantenimiento (entorno). Para determinar la función esencial de un sistema de mantenimiento, se puede recurrir a la definición de ingeniería contenida en la clasificación internacional uniforme de ocupaciones (CIUO) de la OIT. Según esta clasificación, las funciones de arquitectos, ingenieros y ocupaciones relacionadas incluyen la construcción, reparación y mantenimiento de edificios, obras públicas y, de manera específica, aplicaciones industriales como máquinas y equipos (OIT-CIUO-88, 1988). Bajo esta perspectiva, el mantenimiento se interpreta como una disciplina orientada a la preservación de elementos, máquinas o sistemas productivos creados por el ser humano, con el objetivo de garantizar su funcionalidad mediante actividades de construcción, reparación y mantenimiento Pág. (48-49).

Figura 14

Unidad elemental de mantenimiento



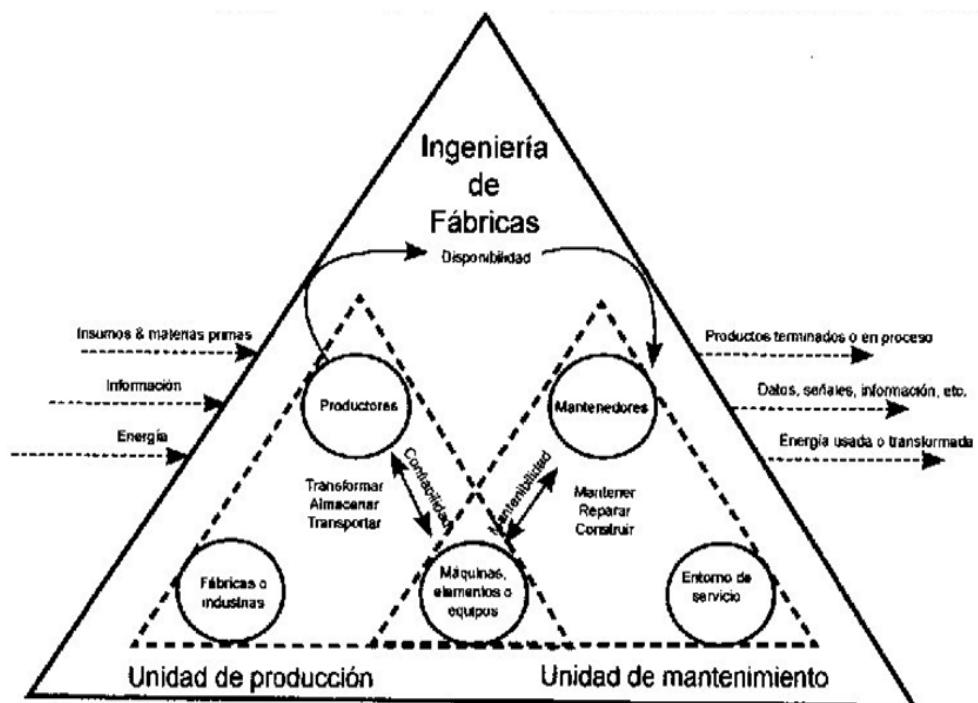
Fuente: Mora A. (2009) Mantenimiento, planeación, ejecución y control

2.1.6 Sistema integral de mantenimiento

Mora (2009). Afirma que, para identificar los protagonistas de la ingeniería de construcción, es necesario establecer los actores clave de la ingeniería de construcción. La Figura 15 muestra la representación gráfica de los componentes. La combinación de las dos funciones fundamentales. El sistema compuesto permite su visualización en un sistema de ingeniería industrial, que son las siguientes: los cuidadores, los fabricantes y las maquinarias; de esta manera se logra que los mantenedores, los productores y las máquinas sean eficientes. Pueden definir las primeras normativas de mantenimiento, donde el elemento esencial es el mantenimiento. El sistema kantiano posibilita determinar que existe una relación entre la producción y el mantenimiento. Las máquinas están regidas por la fiabilidad, la correspondencia entre las máquinas y la confiabilidad. El mantenimiento y las máquinas se definen por su capacidad de conservación, y la relación entre el mantenimiento y la máquina de producción se establece por la disponibilidad, que es el resultado compartido de la ingeniería industrial, donde se identifica como el efecto o el impacto. Pág. (50).

Figura 15

Sistema Integral de mantenimiento y operación



Fuente: Mora A. (2009) Mantenimiento, planeación, ejecución y control.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Definición de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)

Visure Solutions (2023) expone en su página que la meta principal del RCM es incrementar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos y sistemas, a la vez que se disminuyen los gastos de mantenimiento y se disminuye el peligro de averías catastróficas. Fundamentalmente, RCM admite que no todos los bienes dentro del portafolio de una entidad necesitan el mismo grado de conservación. RCM promueve una estrategia personalizada que sincroniza las tareas de mantenimiento con el único contexto operativo y las particularidades de cada activo. El propósito de esta perspectiva proactiva es reconocer las actividades y períodos de mantenimiento más apropiados, mejorando la armonía entre las medidas de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo pág. (3).

2.2.2 Principios del RCM

Visure solutions (2023). Expone que El RCM se basa en los siguientes principios fundamentales:

Maximización de la confiabilidad: la meta principal de RCM es incrementar la fiabilidad de los activos esenciales. Al reconocer y tratar los posibles tipos de fallos y sus razones subyacentes, RCM tiene como objetivo reducir el peligro de averías e interrupciones imprevistas en las actividades.

Minimización del tiempo de parada: la interrupción no programada debido a averías en los equipos puede causar pérdidas de producción considerables y problemas económicos. El propósito de RCM es reducir el tiempo de parada a través de la creación de estrategias de mantenimiento que atiendan las formas de fallo antes de que se transformen en problemas críticos.

Optimización de los gastos asociados al mantenimiento: RCM opta por un método lucrativo para el mantenimiento. Asiste a las entidades a distribuir recursos de forma eficaz, enfocándose en las tareas de mantenimiento que aportan el máximo valor en cuanto a la disminución de riesgos y la mejora de la fiabilidad.

Mejora de la seguridad: numerosos bienes industriales conllevan consecuencias de seguridad, en particular en áreas como el sector aeroespacial, el transporte y la energía. RCM pone énfasis en la detección de formas de fallo que podrían poner en riesgo la seguridad, lo que posibilita a las organizaciones poner en marcha acciones que salvaguardan tanto al personal como al medio ambiente.

Extensión de la vida útil de los activos: mediante un estudio meticuloso de los modos de falla y sus consecuencias, RCM ayuda a prolongar la vida útil de los activos. Al tratar las potenciales razones de deterioro y desgaste, las entidades pueden asegurar que los equipos operen de forma óptima durante un periodo extenso.

Ajustarse a las circunstancias fluctuantes: el ambiente de operación y las necesidades de los activos pueden variar a lo largo del tiempo. La adaptabilidad de RCM posibilita que las organizaciones ajusten sus estrategias de mantenimiento

según las condiciones variables, asegurando así una fiabilidad y eficacia ininterrumpidas.

Fomentar la toma de decisiones fundamentadas en datos: RCM se fundamenta en datos y análisis en vez de conjeturas. Esto fomenta el proceso de tomar decisiones basadas en información y asiste a las organizaciones en cambiar del enfoque convencional de "ejecutar hasta fallar" hacia una cultura de mantenimiento más proactiva.

Cumplimiento de normativas: en sectores regulados como la aviación, la salud y la energía nuclear, resulta crucial adherirse a los rigurosos estándares de operación y seguridad. RCM contribuye a la creación de prácticas de mantenimiento que se ajusten a las exigencias normativas Pág. (4).

Capítulo III. Hipótesis y operacionalización de variables

3.1. Hipótesis general

El mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para la mejora de La disponibilidad de equipos en una unidad de mantenimiento.

3.2. Hipótesis específicas

- a) Utilizando (RCM) se llegará a metas del 95% de disponibilidad eficiente y eficazmente.
- b) Identificar los equipos críticos es necesario para enfocarse en este segmento y no tener que realizar cálculos para todos los equipos.

3.3 Variables y operacionalización de las variables

Tabla 2

Variables y operacionalización de las variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
VI: Mantenimiento centrado en la confiabilidad.	1.analisis de criticidad 2 análisis de modos de fallos	Confiabilidad Mantenibilidad Disponibilidad
VD: Disponibilidad de los Equipos	1. Tiempo de operación de equipos 2. tiempo total de paradas	1.MTBF 2.MTTR 3.LCC

Fuente: Elaboración Propia

Capítulo IV. Metodología de la investigación

4.1 Unidad de análisis

Con la recolección de datos y cálculos de los indicadores MTBF MTTR confiabilidad, mantenibilidad enfocada en la disponibilidad se va a buscar aumentar la producción y lograr mayor eficiencia de maquinaria.

Este tema se desarrolla en una empresa de servicios llamada "Al Piu Sac" enclavada en las afueras de lima norte cuya dirección es Mza. A2 Lote. 7 Asc. Los Jardines de Chillón Lima Perú.

4.2 Tipo, Enfoque, nivel y diseño de investigación.

4.2.1 Tipo de investigación.

La investigación será de **tipo aplicada**, ya que tiene como objetivo utilizar los conocimientos científicos adquiridos para transformar o intervenir en una realidad específica. Este enfoque busca generar soluciones prácticas a problemas concretos, implementando estrategias, técnicas o modelos basados en fundamentos teóricos y empíricos previamente establecidos.

4.2.2 Enfoque.

El enfoque de la investigación será **cuantitativo**, dado que se basa en la recopilación y análisis de datos numéricos, así como en la utilización de fórmulas matemáticas y estadísticas para interpretar los resultados. Este enfoque permite medir fenómenos de manera objetiva, identificar relaciones entre variables y obtener conclusiones respaldadas por evidencia cuantificable.

4.2.3 Nivel o alcance.

El nivel o alcance de la investigación se considera **explicativo**, ya que busca identificar la relación causal entre la aplicación del RCM y el aumento de la disponibilidad de los equipos en la empresa.

4.2.4 Diseño de Investigación.

El diseño de la investigación se considera **no experimental** dado que no se manipulan variables de forma directa y se trabaja sobre datos o información previamente existente. Además, se basa en estudios y trabajos anteriores relacionados con el tema, lo que permite analizar y comprender el fenómeno sin la necesidad de intervenir directamente en su desarrollo.

Capítulo V. Desarrollo del Trabajo

5.1 Análisis de criticidad de equipos

García (2003). Expone que no todos los equipos de una planta industrial tienen el mismo grado de relevancia. Algunos son fundamentales para el desempeño global, mientras que otros tienen un impacto menor. Dado que los recursos disponibles para mantener una planta son limitados, es fundamental priorizar el mantenimiento de los equipos más importantes, asignando una menor proporción de recursos a aquellos que influyen poco en los resultados generales.

El Análisis de Criticidades es el proceso mediante el cual se diferencian los equipos según su impacto en los resultados de la empresa. Este análisis clasifica los equipos en distintos niveles de importancia o criticidad:

5.1.1 Equipos críticos: Son aquellos cuya falla o mal funcionamiento afecta gravemente los resultados de la empresa.

5.1.2 Equipos importantes: Su falla o avería impacta los resultados, pero de manera asumible.

5.1.3 Equipos prescindibles: Su impacto es mínimo, generando solo inconvenientes menores, costes adicionales bajos o cambios sin relevancia significativa.

Algunas empresas añaden una cuarta categoría:

- **Equipos altamente críticos:** Dentro de los equipos críticos, se diferencian aquellos con un impacto aún mayor que los demás.

Para clasificar cada equipo, se evalúa cómo un fallo podría afectar los siguientes aspectos clave:

5.1.3.1 Producción

Se analiza el impacto de un posible fallo en el proceso productivo:

- Si provoca una parada total o afecta áreas prioritarias, el equipo será clasificado como crítico.

- - Si genera pérdidas de producción asumibles o no afecta en absoluto, será clasificado en niveles inferiores.

5.1.3.2 Calidad

Se analiza el impacto de un posible fallo en el proceso productivo:

- Si provoca una parada total o afecta áreas prioritarias, el equipo será clasificado como crítico.
- Si genera pérdidas de producción asumibles o no afecta en absoluto, será clasificado en niveles inferiores.

Se considera si el equipo tiene:

- Una influencia directa y significativa en la calidad del producto o servicio final.
- Una influencia moderada o eventual.
- Ningún impacto en la calidad.

5.1.3.3 Mantenimiento

Se evalúa la frecuencia y el coste de las averías:

- Equipos con fallos frecuentes y reparaciones costosas son más críticos.
- Aquellos con un coste promedio o bajo mantenimiento serán clasificados en niveles inferiores.

Se valora el riesgo asociado a un fallo del equipo en términos de seguridad y sostenibilidad:

- Si el fallo puede causar accidentes graves con alta probabilidad, se considera crítico.
- Si el riesgo de accidente es bajo o inexistente, su criticidad será menor.

Este enfoque permite optimizar el uso de recursos, garantizando que los esfuerzos de mantenimiento se concentren en los equipos que más lo requieren, favoreciendo la continuidad operativa, la calidad y la seguridad Pág. (24).

5.2 Indicadores de gestión de equipos

5.2.1 Ecuaciones de confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad:

a. Confiabilidad R (t)

$$R(T) = e^{\frac{-t}{MTBF}}$$

e = 2.718

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de operación}}{\text{Nº de fallas}}$$

MTBF: Tiempo promedio entre fallas

b. Mantenibilidad (M)

$$M(t) = 1 - e^{\frac{-t}{MTTR}}$$

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total para restaurar}}{\text{Nº de Fallas}}$$

MTTR: Tiempo medio para la reparación

c. Disponibilidad (D)

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Fuente: Alberto Mora (2009). Mantenimiento, planeación, ejecución y control.

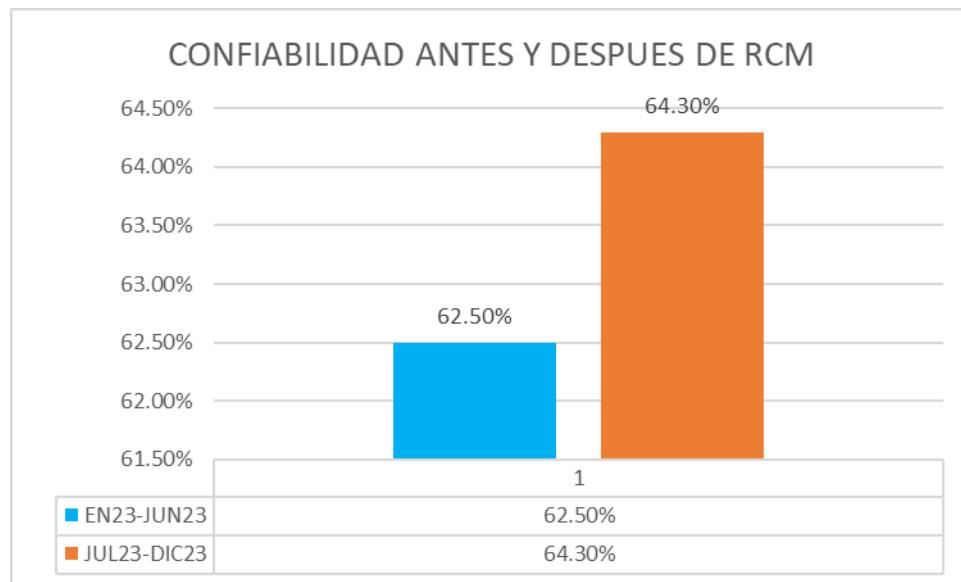
Tabla 3*Disponibilidad antes de aplicar RCM*

Meses	Hras. Calendario x mes			Hras. De maquinaria en marcha x mes (horometro)			Horas de maquina en mantenimiento			Numero de paradas x mantenimiento			Tiempo peromedio entre fallas			Confiabilidad en un semana			Tiempo promedio para reparar (MTTR)			Mantenibilidad en 1 semana			Disponibilidad (%)		
En 23	360	300	1	60	300	75.6	60	75	83.3																		
Feb 23	360	290	2	70	145	56.0	35	91	80.6																		
Mar23	360	310	3	50	103	44.40	16.7	99	86.1																		
Abr 23	360	280	1	80	280	74.10	80	65	77.8																		
May 23	360	298	1	62	224	68.7	46.5	100	82.8																		
Jun 23	360	295	2	65	148	56.0	32.5	86	81.9																		
Mantenibilidad promedio=86%				Confiabilidad promedido				62.5%				Disponibilidad prom				82.1%											

Fuente: Propia

Gráfico 1

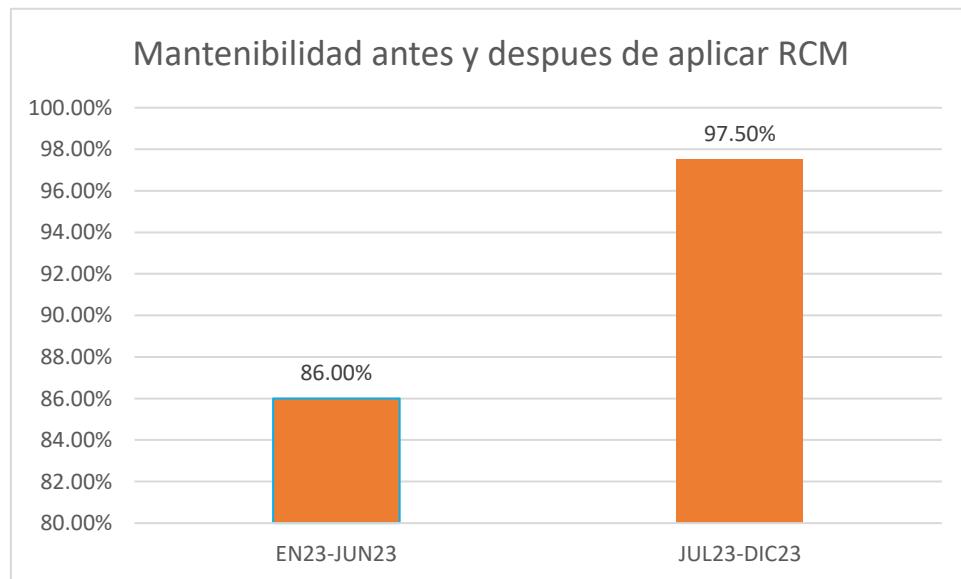
Confiabilidad antes de RCM



Fuente: Propia

Gráfico 2

Mantenibilidad antes y después de aplicar RCM



Fuente: Propia

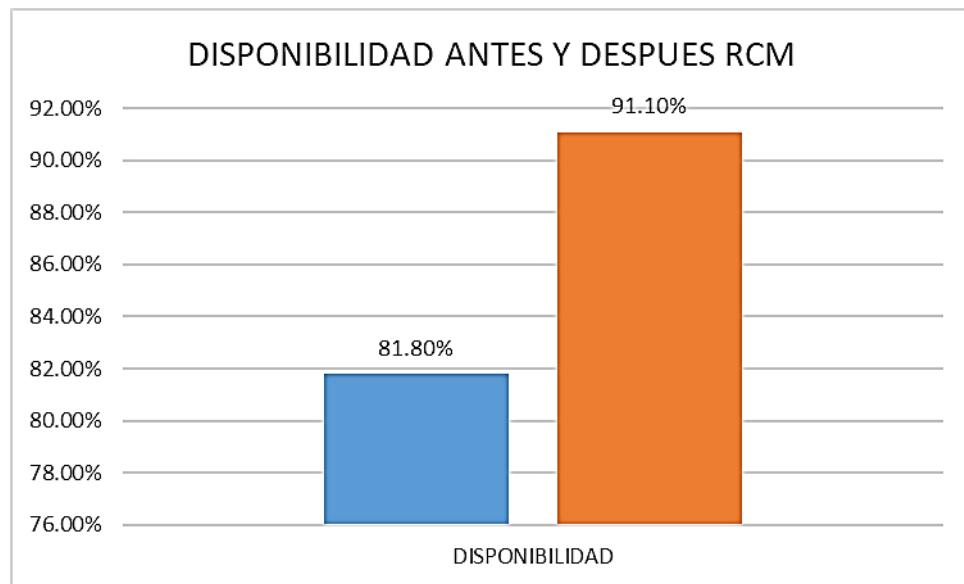
Tabla 4*Disponibilidad después de aplicar RCM*

Meses	Hras. Calendario x mes	Horas calendario x mes maquinarias en marcha x mes	No. Paradas x mantenimiento	Horas de máquinas en mantenimiento	Tiempo promedio entre Fallas (MTBF)	Confiabilidad 1 en una semana	Tiempo Promedio para reparar (MTTR)	Mantenibilidad (%) en 01 semana	Disponibilidad (%)
Jul.23	360	330	3	30	110	46.6	10	100	91.70
Ago.23	360	330	2	30	165	60.1	15	100	91.70
Sep.23	360	345	1	15	259	72.3	11.3	100	95.8
Oct.23	360	328	1	32	328	77.4	32	93	91.1
Nov.23	360	320	1	40	240	70.5	30	94	88.9
Dic .23	360	315	2	45	158	58.8	22.5	98	87.5
Mantenibilidad=97.5		Confiabilidad Promedio=64.3%			Disponibilidad:91.1 %				

Fuente: Propia

Gráfico 3

Disponibilidad después de aplicar RCM



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5

Criticidad de los equipos

TIPO DE EQUIPO	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	PRODUCCION	CALIDAD	MANTENIMIENTO
A	Puede originar accidente muy grave		Es clave para la calidad del producto	Alto coste de reparación en caso de avería
CRITICO	Necesita revisiones periódicas frecuentes (mensuales)	Su parada afecta el plan de producción	Es el causante de un alto porcentaje de rechazos	Averías muy frecuentes
	Ha producido accidentes en el pasado			Consumo parte muy importante de los recursos de mantenimiento

B IMPORTANTE	Necesita revisiones periódicas frecuentes (anuales).	Afecta la producción, pero es recuperable (no llega a afectar a clientes o plan de producción)	Afecta la calidad, pero habitualmente no es problemático. .	Coste medio en mantenimiento
	Puede ocasionar un accidente grave, pero las posibilidades son remotas			
C PRECINDIBLE	Poca influencia en seguridad	Poca influencia en producción.	No afecta a la calidad	Bajo coste en mantenimiento

Fuente: García Garrido (2003). *Organización y Gestión Integral de Mantenimiento*

Tabla 6*Datos de información AMEF de los sistemas del Cargador Frontal*

Sistema	Subsistema	Componente	Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	d	o	d	Nivel de prioridad
Motor	Enfriamiento	Radiador	Realizar el intercambio de calor, refrigerar el motor	No disipa el calor	Impacto de material	Si falla el radiador se paraliza el motor por recalentamiento y rajaduras internas	1	4	2	8
		Bomba de agua	Recircular el agua para el enfriamiento	Pierde presión	Fugas por sello mecánico	Se pierde refrigerante y el enfriamiento es menor	1	5	2	10
		Ventilador	Generar aire para transferirlo al radiador para disipar calor	Flujo de aire insuficiente	Alabes rotos	Recalienta el motor se para el motor	2	2	1	4
		Líneas de enfriamiento	Conducir el fluido refrigerante hacia los enfriadores	Perdida de refrigerante	Picadura de las tuberías o mangueras	El motor se recalienta y se paraliza	2	2	1	4
		termostato	Mantener la temperatura ideal del motor	El termostato no regula	Se queda pegado abierto o cerrado	Sobrecalentamiento o el motor trabaja frio	2	3	4	24
	Combustible	Bomba de combustible	Enviar combustible a los inyectores	Caudal insuficiente de combustible	Fugas de combustible	Pierde potencia se paraliza el motor	2	3	1	6
		Inyectores	Dosificar combustible a los cilindros	Exceso de combustible en el cilindro	Fugas por las toberas	Resortes rotos asiento de tobera cavitados	2	3	2	12
		Tanque de combustible	Almacenar combustible para la operación	Almacenamiento inadecuado	Fugas extensas	Combustible de derrama al suelo	10	3	4	120

		Filtros	Retener las fuerzas	Exceso de partículas en los filtros	Filtros rotos internamente	Perdida de potencia se paraliza el motor	2	3	1	4
Combustible	Eco. de combustible	Eco. de combustible	Indicar el tiempo de inyección a los cilindros	Exceso de códigos de falla	Cables a tierra afectan su programación	Se alertan códigos y se paraliza el motor	1	2	3	6
		Eje delantero y cubo	Soportar el peso bruto del camión transmitir fuerza	Pérdida de fuerza		Pérdida de control de tracción	3	5	1	15
Motor										
Suspensión	Suspensión	Delantera, posterior	Pérdida de fuerza Controlar la estabilidad del cargador frontal	Escases de estabilidad	Fallas por sellos	Fugas de aceite o nitrógeno	3	4	5	60
		Pistones de suspensión	Absorber los impactos de la superficie	Golpes por estabilidad	Fallas por rotura o cavitación	Fuga de aceite o nitrógeno	6	5	4	120
Sistema Hidráulico	Dirección	Bomba de Dirección	Abastecer aceite al circuito de dirección	Se pierde el caudal de aceite	Se rompen los pistones de la bomba	Perdida de presión en la dirección	3	4	3	36
				Sensor de dirección			5	5	6	150
Dirección	Acumuladores	Acumuladores	Acumular energía hidráulica para evitar fluctuaciones	No se acumula energía	Fugas por válvula de retención	Frenado brusco	6	4	4	96
		Líneas de dirección	Direccionar aceite	No se mantiene la presión en el sistema	Fugas por orines	Pérdida de capacidad en la dirección	1	7	6	42
	Barra de dirección	Poner en dirección el giro de los neumáticos	Falta de ángulo de giro	Ajustes inadecuados	El camión se desliza a un lado		6	2	1	12

	Pines y bocinas rodajes de dirección	Sujetar el cilindro	Se impide el movimiento relativo	Falla en sellos	Abertura de bocinas	4	6	7	168
Sistema hidráulico	Válvula de dirección	Direccionar el flujo de aceite de dirección.	Se generan acumulación de aire	Válvula agarrotada	La capacidad de la dirección se reduce	4	2	6	48
	Cilindro de dirección	Transmite la potencia hidráulica a la barra direccional	No se transmite potencia	Rotura de sellos	Se traba la dirección	6	3	5	90
Circuito Hidráulico	Tanque hidráulico	Recolección de aceite para circuito	No se garantiza la hermeticidad de aceite	Exceso de desgaste en el respiradero	Se contamina el sistema hidráulico	2	5	6	60
	Líneas hidráulicas	Conducir aceite al sistema	no se mantiene la presión de trabajo	Fugas por orines	Se pierde la capacidad de respuestas	4	6	4	96
	Bomba hidráulica	Proporcionar aceite hidráulico	No se impulsa aceite según la cantidad que se requiere	Desgaste por contaminación	Se pierde la eficiencia del sistema hidráulico	3	4	3	36
Circuito hidráulico	Circuito de levante	Válvula de levante	Trasmitir aceite a los cilindros de levante	No se transmite el caudal que se requiere	Fugas	Levante lento	5	2	4
		Cilindro de levante	Generar la fuerza hidráulica para levantar la	No se transmite la fuerza	Rotura de sellos	Se traban los cilindros	3	2	2
	Estructuras	Protege al operador de materiales	No provee protección	Rajadura dobladuras	Perdida de seguridad	7	5	2	70
Cabina del operador	Cinturón de seguridad	Asegurar al operador	No provee fijación	Desgaste de correa y seguro	Perdida de seguridad ante accidente	4	4	3	48

		Controles								
		Asiento del operador	Brinda el confort al operador	No absorbe el impacto	Se desgasta el aislamiento	Enfermedades ocupacionales	3	4	5	60
Cabina	Aire acondicionado	Compresor de aire	Comprimir aire para la evacuación del calor	Se pierde la compresión	Desgaste de cámaras herméticas	Se pierde confort	3	3	4	36
		Líneas de refrigerante	Conducir aire hacia la unidad de aire	Se pierde refrigerante	Fugas por abrazaderas	Se pierde confort	5	5	3	75
		Unidad de aire Acondicionado	Controlar la dirección de flujo de aire	Flujo bajo	Fallas eléctricas	Confort bajo en la cabina	4	7	2	56
		Sistema automatizado	Lubricar partes mecánicas del camión	No se mantiene la lubricación	Fallas en la programación	Fallas de sensores	5	7	8	280
Lubricación automática	Sistema de lubricación	Líneas de lubricación	Conducir la grasa a los pinos y bocinas	No se traslada la grasa	Rotura de líneas	Se pierde la lubricación en pinos	2	4	5	40
		Reserva de grasa	Almacenar la grasa en recipientes	Perdida de hermeticidad	Agrietamiento	Se contamina la grasa	5	5	4	100
		Escaleras barandas	Asegurar el tránsito a la cabina	No se provee acceso	Fractura de soldaduras	Se pierde seguridad para el acceso a cargador frontal	5	2	7	70
Estructuras	Guardas estructurales	Plataformas	Visualizar componentes de manera segura	No se provee acceso seguro	Fractura en plataformas	Golpe caídas durante el mantenimiento	4	5	1	20
		Chasis	Soportar el peso del cargador frontal	No se brinda la rigidez	Rotura de soldaduras	Grietas fallas catastróficas	3	3	4	36
		Cucharon	Soportar la carga del cargador frontal	No soporta la carga correctamente	Rotura en base del cucharon	Riesgo de accidentes	4	4	3	48

		Cucharon	Pines de pivot	Punto de apoya para el giro entre chasis y cucharon	No gira le pivot	Agarrotamiento del pivot	Atascamiento sobreesfuerzo	3	3	2	18
			Seguro de traba	Bloquea el descenso del cucharon	No bloquea el cucharon	Rotura de cable	Pérdida s seguridad en el mantenimiento	2	2	5	20
			Disco de freno	Superficie donde se aprietan los Caliper de frenado	No disipa calor adecuadamente	Desgaste	Se reduce la capacidad de frenado	2	4	7	56
	Frenado	Frenos delanteros	Pastillas de fricción								
			Líneas de freno	Conducir aceite hacia los pistones de frenado	No se aplican presión de frenado	Cristalización de pastillas	Calentamiento	1	4	6	24
		Freno trasero	Disco de frenos	Superficie donde se aprietan los caliper de frenado	No disipa calor adecuadamente	Desgaste	Se reduce la capacidad de frenado	4	5	5	100
			Pastillas de fricción	Ajustar los discos para frenar	Frenado deficiente	Cristalización desgaste	Se reduce la capacidad de frenado	2	4	7	56
			Líneas de frenado	Conducir aceite hacia los pistones de frenado	No se aplica presión de frenado	Cristalización de pastillas	Calentamiento	2	5	8	80
Frenado	Freno trasero	Freno de parqueo	Es un dispositivo para mantener estático el cargador frontal	No detiene el cargador frontal	Desgaste de discos	Pérdida de capacidad de detención		3	5	1	15
		Válvulas de control	Recibir aceite de boba y acumuladores	No se envían aceite a los frenos	Se agarrotan los eventos	Incapacidad de frenar		3	2	1	6

		Válvula de freno	Recibir señales de operador.	No envía señales de operación	Se atasca el pedal de freno	Incapacidad de frenar	3	4	1	6
Circuito hidráulico de freno	Circuito hidráulico de freno	Líneas	Conducir la presión de aceite a la válvula de control	No envía presión de aceite	Atascamiento de pedal	Incapacidad de frenado	3	5	3	45

Fuente: Caterpillar; El NPR se utilizó para identificar el sistema al cual se implementará un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad, enfocándose en aquellos sistemas y componentes que presenten fallas frecuentes y afecten la disponibilidad del cargador frontal. Por otro lado, mediante el AMEF, logramos desarrollar un plan específico de mantenimiento para cada componente del camión.

Los resultados presentados en la tabla del AMEF permiten concluir que la aplicación del RCM es recomendable para todos los sistemas del camión, ya que contribuirá a reducir la cantidad de fallas en los sistemas y aumentará la disponibilidad del cargador frontal. Desde el punto de vista técnico, una falla en un sistema puede ser provocada por fallas en otros sistemas no relacionados. Se identificaron 5 componentes críticos según el nivel de prioridad, a los cuales se les dará especial atención. Estos componentes están marcados en color amarillo en la tabla anterior.

Capítulo VI Análisis y discusión de resultados

6.1. Confiabilidad antes de aplicar RCM.

Una Confiabilidad de 62.5% indica que, en promedio, los equipos o sistemas están operativos sin experimentar fallos durante el tiempo total considerado. Este valor refleja que más de un tercio del tiempo operativo potencial se ve afectado por fallos o interrupciones, lo cual tiene un impacto directo en la eficiencia, productividad y costos de las operaciones. Si bien este desempeño puede ser aceptable en ciertos contextos, en industrias que dependen de una alta estabilidad operativa, como manufactura, minería, transporte o energía, un nivel de confiabilidad como esta evidencia áreas críticas que requieren atención y mejora.

6.1.1 Confiabilidad después de aplicar RCM.

La implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) generó un aumento en la confiabilidad de los sistemas, pasando del 62.5% al 64.3%, lo que representa una mejora de 1.8 puntos porcentuales. Este incremento, aunque moderado, indica que las estrategias del RCM están comenzando a impactar positivamente en la capacidad de los equipos para operar sin fallos. El aumento refleja que el enfoque sistemático del RCM ha permitido identificar y abordar ciertos modos de fallo, mejorando la eficiencia operativa. Esta mejora inicial sugiere que los esfuerzos realizados en términos de análisis y priorización de tareas críticas están empezando a dar resultados. Sin embargo, también destaca que aún existen oportunidades significativas para optimizar el mantenimiento y aumentar más este indicador.

6.1.2 Mejoras observadas

La mejora en la confiabilidad, de 62.5% a 64.3%, indica que las intervenciones de mantenimiento proactivas y basadas en datos implementadas con RCM han sido efectivas. El enfoque de RCM optimiza el ciclo de vida de los equipos, reduce las fallas inesperadas y mejora la disponibilidad operativa.

6.1.3 Posibles causas de la mejora

Mantenimiento preventivo y predictivo: Antes de RCM, el sistema probablemente dependía del mantenimiento correctivo, lo que genera tiempos de

inactividad no planificados. Con RCM, es más probable que se haya implementado un mantenimiento predictivo, lo que reduce el riesgo de fallas.

6.1.4 Análisis de riesgos

El RCM se basa en un análisis exhaustivo de riesgos, identificando los modos de falla críticos y los efectos asociados. Esto permite priorizar los recursos y esfuerzos en aquellos componentes que tienen un mayor impacto en la confiabilidad global.

6.1.5 Optimización de recursos

Al centrarse en la confiabilidad, es probable que los equipos de mantenimiento hayan optimizado los recursos y el tiempo, reduciendo las intervenciones innecesarias y aumentando la eficiencia operativa.

6.1.6 Impactos en costos y producción

La mejora en la confiabilidad generalmente lleva a una reducción de costos a largo plazo, ya que el mantenimiento preventivo y predictivo es más económico que el mantenimiento correctivo, especialmente cuando las fallas se vuelven más predecibles.

6.1.7 Mejora de la producción

Un aumento en la confiabilidad también significa menos tiempos de inactividad no planificados, lo que lleva a una mayor eficiencia en la producción, mejor rendimiento de los equipos y, en última instancia, mayor rentabilidad.

6.1.8 Posibles áreas de mejora

Aunque la mejora en la confiabilidad es evidente, siempre hay margen para mejorar. Puede ser útil seguir monitoreando el sistema con regularidad, utilizando herramientas avanzadas como el análisis de datos o el mantenimiento predictivo basado en inteligencia artificial (IA) para detectar problemas antes de que ocurran. Es posible que la implementación de RCM haya generado mejores resultados a nivel de confiabilidad, pero es importante evaluar otras métricas como la

disponibilidad, el tiempo de reparación, y la eficiencia operativa para tener una visión completa de la efectividad del sistema de mantenimiento.

6.1.9 Mantenibilidad antes y después de aplicar RCM.

La mejora en la mantenibilidad, que pasó del 86% al 97.5%, representa un incremento significativo de 11.5 puntos porcentuales. Este avance demuestra una notable optimización en la capacidad para realizar reparaciones de manera eficiente y dentro de tiempos planificados. Un nivel de mantenibilidad del 97.5% indica que casi la totalidad de las reparaciones o intervenciones de mantenimiento se realizan con éxito dentro del tiempo estimado, lo que reduce significativamente los tiempos de parada.

6.2 Definición de disponibilidad

Comienza explicando qué significa la disponibilidad en este contexto. La disponibilidad es un indicador clave que refleja el tiempo que un sistema está operativo en relación con el tiempo total, y se expresa comúnmente como un porcentaje.

6.2.1 Meta establecida

La meta establecida para este proyecto o sistema era alcanzar una disponibilidad cercana al 95%, lo que implica que se aceptaba un 5% de tiempo de inactividad como máximo, considerando que es una cifra adecuada para el tipo de sistema en cuestión.

6.2.2 Meta inicial

Objetivo de disponibilidad del 95% este valor fue establecida basándose en un análisis de las necesidades operativas, los estándares de la industria, y las condiciones del sistema. El 95% de disponibilidad se consideró un valor alcanzable y adecuado para mantener un equilibrio entre el costo de mantenimiento y la operatividad.

6.2.3 Factores involucrados

La meta también estuvo influenciada por los recursos disponibles para mantenimiento preventivo, las condiciones de los equipos, y la capacidad del equipo de trabajo para responder ante imprevistos.

6.2.4 Resultado final

el resultado obtenido fue una disponibilidad del 91.1%, lo que representa una ligera disminución con respecto a la meta planteada. Aunque no se alcanzó el 95% propuesto, la diferencia es relativamente pequeña.

6.2.5 Benchmarking

Compara los resultados obtenidos con los estándares de la industria o con empresas similares. Un 95% de disponibilidad es considerado generalmente aceptable en muchos sectores, pero algunos sistemas de alta criticidad, como los de telecomunicaciones o energía, pueden requerir disponibilidad mucho más alta, como el 99.9% o más.

6.2.6 Antecedentes

En los antecedentes investigativos Salas (2021). Obtuvo una disponibilidad de 91.58 % Comparando con los resultados obtenidos en nuestro proyecto 91.1% lo que indica una mejora significativa en la disponibilidad del sistema. Esto puede atribuirse a una mejora por implementación de las estrategias de RCM, a avances tecnológicos, o a una mejor capacitación del equipo.

Conclusiones

En conclusión, el RCM se presenta como una alternativa eficaz para gestionar de manera ordenada el mantenimiento de los equipos, garantizando su fiabilidad y prolongando su vida útil. Mediante la implementación de un enfoque sistemático, el RCM permite identificar y priorizar las necesidades de mantenimiento de los equipos, optimizando los recursos y minimizando los costos operativos. De esta manera, se asegura una operación más eficiente y segura en el tiempo.

La productividad se vería significativamente afectada por las constantes paradas de equipos y unidades pesadas sin el mantenimiento correctivo adecuado. Las paradas imprevistas aumentan el tiempo de inactividad, lo que reduce la eficiencia operativa y genera costos adicionales debido a la interrupción de los procesos productivos. Además, la falta de mantenimiento correctivo puede ocasionar fallas mayores que requieran reparaciones más costosas y tiempos de inactividad más prolongados. Implementar un mantenimiento correctivo adecuado es esencial para minimizar estos impactos y garantizar la continuidad y estabilidad de la producción.

El proceso de RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) tuvo un impacto significativo en la disponibilidad de los equipos. Antes de la implementación del RCM, la disponibilidad alcanzaba un 81.8%, lo que reflejaba limitaciones en el rendimiento y en la fiabilidad de los equipos operativos. Sin embargo, tras la aplicación del RCM, se logró un aumento notable, alcanzando una disponibilidad del 91.1%. Este incremento del 9.3% en la disponibilidad refleja la efectividad del enfoque RCM para optimizar los recursos, mejorar los tiempos de operación y reducir el tiempo de inactividad, lo que resulta en una mayor eficiencia y productividad operativa.

Este enfoque resalta de manera más detallada el impacto positivo del RCM, dando énfasis al cambio en los resultados y la mejora de la eficiencia.

Recomendaciones

1. Mantener el enfoque proactivo: Dado que la disponibilidad aumentó del 82.1% al 91.1%, se recomienda continuar aplicando el enfoque proactivo de mantenimiento basado en RCM, ya que ha demostrado ser efectivo en la mejora de la disponibilidad operativa.
2. Monitoreo constante de equipos críticos: Realizar un seguimiento continuo de los componentes y sistemas que han mostrado mejoras significativas en su disponibilidad. Esto permitirá detectar cualquier posible desviación en el rendimiento antes de que afecte la operación.
3. Expandir el RCM a otros equipos: Ampliar la aplicación de RCM a más sistemas y componentes, ya que su implementación ha demostrado beneficios claros. Esto podría aumentar aún más la disponibilidad en otras áreas del proceso operativo.
4. Capacitación continua: Asegurar que todo el personal involucrado en el mantenimiento esté adecuadamente capacitado y actualizado sobre las mejores prácticas del RCM, lo que garantizará una implementación más efectiva y sostenible a largo plazo.
5. Optimización de intervenciones de mantenimiento: Evaluar y ajustar las intervenciones de mantenimiento de manera que se logre el equilibrio adecuado entre la frecuencia de mantenimiento y la mejora de la disponibilidad, evitando tanto la sobrecarga de intervenciones como la falta de atención a equipos críticos.
6. Evaluación periódica de resultados: Continuar evaluando el impacto del mantenimiento centrado en confiabilidad sobre la disponibilidad, con el fin de identificar áreas adicionales de mejora y realizar ajustes en el plan de mantenimiento conforme sea necesario.
7. Incorporación de nuevas tecnologías de monitoreo: Integrar tecnologías avanzadas de monitoreo y diagnóstico para detectar problemas potenciales con antelación, permitiendo una intervención más rápida y eficiente en los sistemas críticos.
8. Implementación de mantenimiento predictivo: Integrar tecnologías de monitoreo avanzado, como sensores de vibración, temperatura y análisis de aceites, para

anticipar fallas antes de que ocurran. Esto permitirá realizar intervenciones de mantenimiento justo a tiempo y evitar fallas inesperadas.

9. Mejorar la documentación de mantenimiento: Asegurar que todos los registros y datos relacionados con el mantenimiento sean completos, precisos y fáciles de consultar. Una base de datos sólida y accesible permitirá un mejor análisis y planificación futuro.
10. Fomento de la cultura de confiabilidad: Promover una cultura organizacional centrada en la confiabilidad, donde todos los miembros del equipo estén comprometidos con la mejora continua y la prevención de fallas. Esto incluiría la participación de todos en el proceso de identificación de problemas y propuestas de soluciones

Referencias bibliográficas

Libros y Tesis

- CUIO-88-OIT, Darnell, H., & Smith, M. (1991). *Clasificación internacional uniforme de ocupaciones: Management aspects of terotechnology* [Libro]. Oficina Internacional del Trabajo.
- Chiavenato, I. (2005). Introducción a la teoría general de la administración (7.^a ed.). McGraw Hill.
- Duffuaa, R. (2007). Sistemas de mantenimiento: Planeación y control.
- García, F. (2003). Organización y gestión integral de mantenimiento. Ediciones Díaz de Santos.
- Mora, A. (2009). *Mantenimiento, planeación, ejecución y control*. Alfaomega Grupo Editor.
- Purilla. (2024). Mantenimiento industrial.
- Salas Paco, P. G. (2021). *Plan de mantenimiento aplicando PMO y RCM para mejorar la confiabilidad operacional de tractores de orugas Caterpillar D11T en una empresa minera de Tacna* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. UNAS.

Fuentes Web

- Gmao. (2024, marzo 26). ¿Qué es el mantenimiento preventivo? Objetivos y puesta en marcha. *GMAO / LATAM*.
https://www.dimomaint.com/latam/guias/que-es-mantenimiento-preventivo/#elementor-toc__heading-anchor-2
- Gmao. (2024, julio 26). Mantenimiento preventivo vs mantenimiento predictivo. *GMAO / LATAM*. https://www.dimomaint.com/latam/blog/mantenimiento-preventivo-vs-predictivo/#elementor-toc__heading-anchor-2

Sicma. (2024, febrero 19). Guía completa de mantenimiento preventivo industrial.

Soluciones Integrales para la Industria 4.0.

<https://www.sicma21.com/quia-del-mantenimiento-preventivo-industrial/>

Visure Solutions. (2023, febrero 17). Desventajas de IBM DOORS: ¿Está ralentizando a su equipo? *Visure Solutions.*

https://visuresolutions.com/es/gu%C3%A3a-fmea-de-gesti%C3%B3n-de-riesgos/Mantenimiento-Centrado-en-Confiabilidad/#elementor-toc_heading-anchor-1

Anexos

ANEXO A: Matriz de consistencia.....	1
ANEXO B: Diagrama causa - efecto	2
ANEXO C Plano de la planta de mantenimiento	3
ANEXO D <i>Diagrama de Flujo de mantenimiento preventivo</i>	4

ANEXO A:
Matriz de consistencia

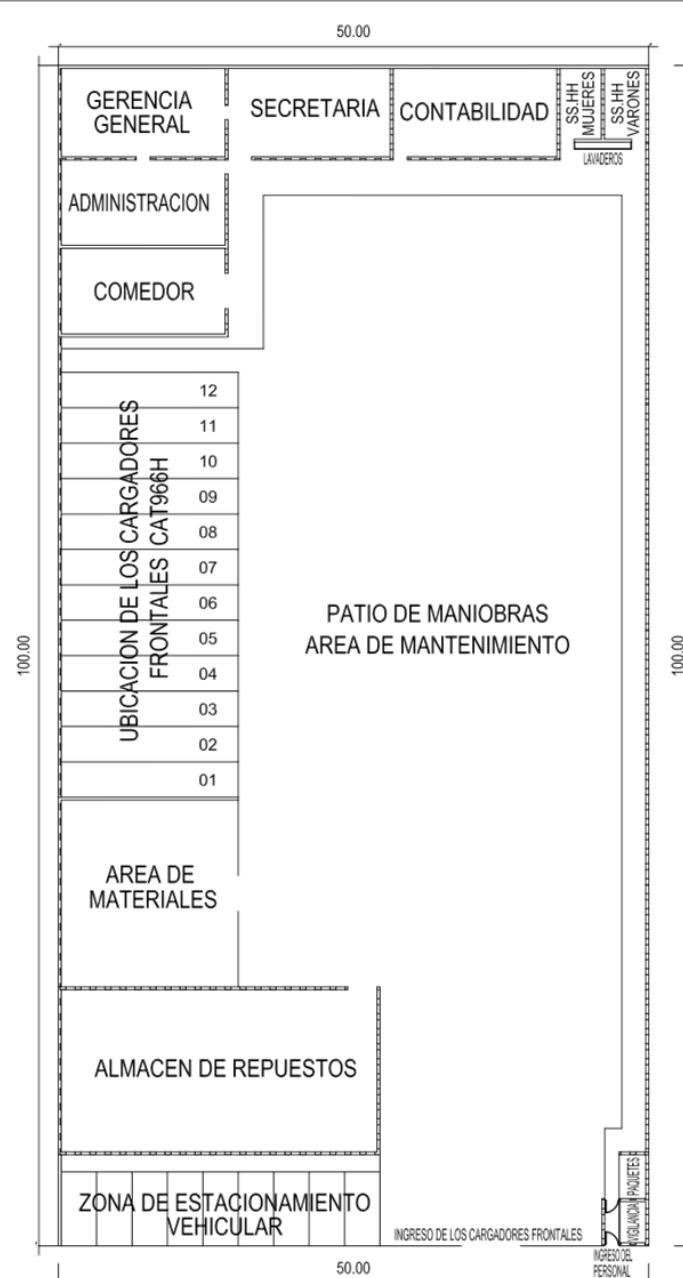
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
¿De qué manera el mantenimiento centrado en la confiabilidad mejora la poca disponibilidad en la empresa AL PIO SAC?	Proponer el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para la mejora de la disponibilidad de equipos en una unidad de mantenimiento.	El mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) mejora la disponibilidad de los equipos en una unidad de mantenimiento.	VI: Mantenimiento Centrado en la confiabilidad VD: Incrementar la confiabilidad	Tecnológica Operativa Descriptivo, explicativo y de correlación.
PROBLEMA ESPECÍFICO	OBJETIVO ESPECIFICO:	HIPÓTESIS ESPECIFICA:		NIVEL DE INVESTIGACIÓN
a) Existirá un método científico para llevar un mantenimiento ordenado de los equipos? b) ¿La productividad se vería afectada por las constantes paradas de equipos y unidades pesadas sin el debido mantenimiento?	a) Plantear un objetivo para llegar a una confiabilidad cercana al 95 % de tal manera que los costos de mantenimiento no sean muy altos. b) Levantar un inventario detallado de Activos como equipos y vehículos. .	a) Utilizando (RCM) se llegará a metas del 95% de disponibilidad eficiente y eficazmente. b) Identificar los equipos críticos es necesario para enfocarse en este segmento y no tener que realizar cálculos para todos los equipos		Es descriptivo y correlacional, descriptivo porque se da un análisis de la cantidad de horas de mantenimiento correctivo y correlacional porque hay una relación entre variables

Nota: Fuente: Propia

ANEXO B:
Diagrama causa - efecto



ANEXO C
Plano de la planta de mantenimiento

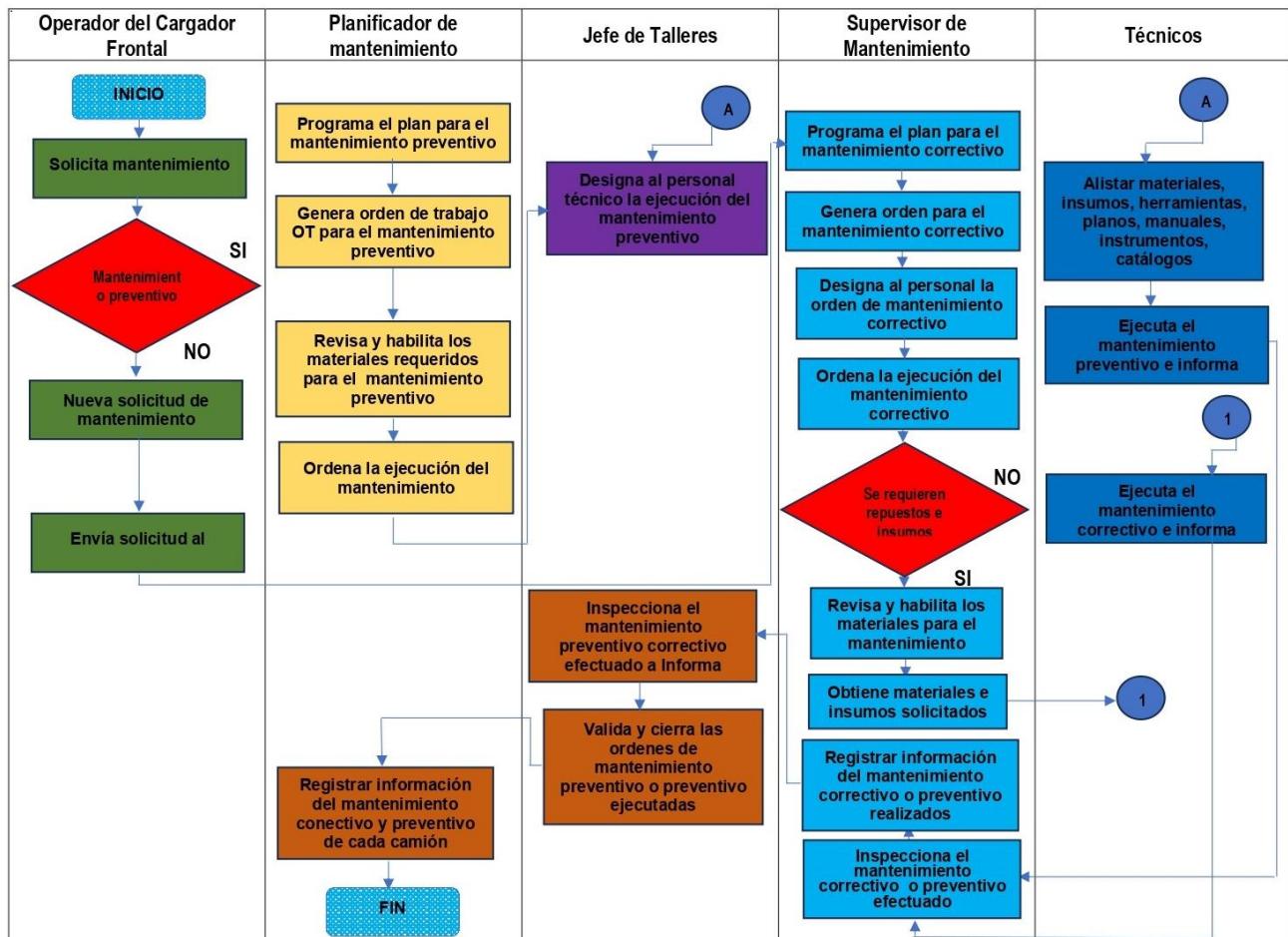


PRIMERA PLANTA

ALUMNO :			
GLICERIO EDGAR RODRIGUEZ SILVA			
TITULO : TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL		FACULTAD : INGENIERIA MECANICA	
ESPECIALIDAD : ARQUITECTURA PRIMERA PLANTA		LAMINA	
DISEÑO. G.E.R.S.	FECHA ENERO, 2025	ESC. 1/500	A-01

ANEXO D

Diagrama de Flujo de mantenimiento preventivo



Caterpillar 966H



Fuente: Caterpillar