



UNIVERSIDAD
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Diseño de indicadores clave de desempeño (KPI) para la
gestión del mantenimiento de equipos del proyecto de
construcción del Nuevo Muelle de San Nicolás - CHEC**

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Mecánico - Eléctrico

Luis Alberto Moreno Dávila

Asesor:
Dr. Ing. Redy Henry Risco Ramos

Piura, febrero de 2026

Declaración Jurada de Originalidad del Trabajo Final

Yo, Luis Alberto Moreno Dávila, egresado del Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Piura, identificado(a) con DNI: 70558988, declaro que:

Soy autor del trabajo final titulado:

“Diseño de indicadores clave de desempeño (KPI) para la gestión del mantenimiento de equipos del proyecto de construcción de Nuevo Muelle de San Nicolás - CHEC”

El mismo que presento bajo la modalidad de Tesis para optar el Título profesional de Ingeniero Mecánico-Eléctrico.

Que el trabajo se realizó en coautoría con los siguientes alumnos de la Universidad de Piura.

- Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con Elija un elemento: Escribir número
- Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con Elija un elemento: Escribir número
- Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con Elija un elemento: Escribir número
- Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con Elija un elemento: Escribir número

El texto de mi trabajo final es original y no vulnera los derechos de terceros o, de ser el caso, derechos de los coautores, incluidos los derechos de propiedad intelectual, datos personales, entre otros. En tal sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para lo cual, he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas. Asimismo, el texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico; y que la investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.

En caso de detectarse el incumplimiento de lo declarado asumo frente a terceros, la Universidad de Piura y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

La asesoría del trabajo estuvo a cargo de los siguientes docentes de la Universidad de Piura:

- Dr. Ing. Redy Henry Risco Ramos, identificado con DNI: 03654709
- Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con Elija un elemento: Escribir número
- Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con Elija un elemento: Escribir número

Declaro (declaramos) que:

Luego de haber empleado el software de coincidencia Turnitin, revisado las fuentes de información señaladas por el autor, y en razón de mi (nuestra) experiencia como investigador(es), declaro (declaramos) que las ideas expuestas en el trabajo final alcanzan las condiciones de calidad, integridad y originalidad acorde a los objetivos institucionales y estándares en materia de investigación. Finalmente, no asumo (asumimos) responsabilidad por la posible vulneración de derechos de autor en el trabajo final referido, pues tal responsabilidad es exclusiva del autor.

Fecha: 16/01/2026.



Firma del autor¹

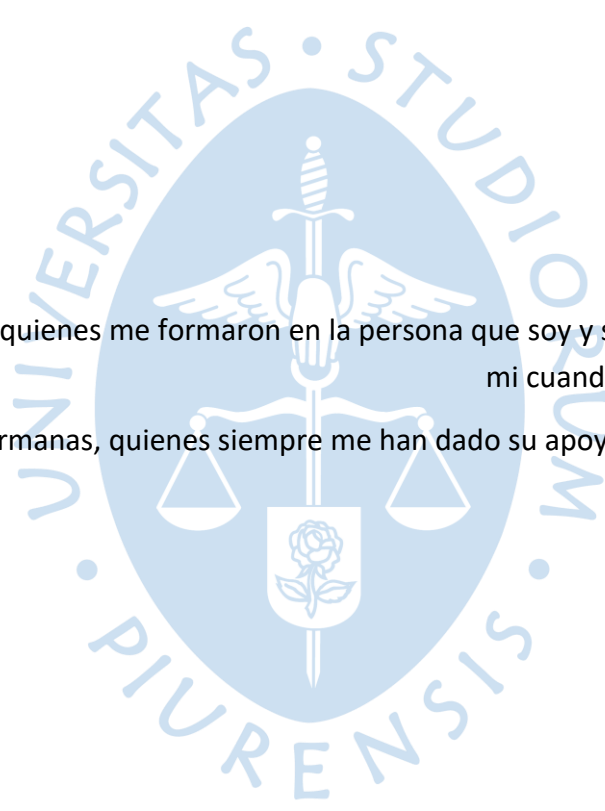


Firma del asesor¹

Firma del co-asesor¹

Firma del co-asesor¹

¹ Firma idéntica al DNI. No se admite digital, salvo certificado.



Dedicatoria

A mis padres, quienes me formaron en la persona que soy y siempre han estado para mi cuando más los he necesitado.

A mis hermanas, quienes siempre me han dado su apoyo y cariño incondicional.

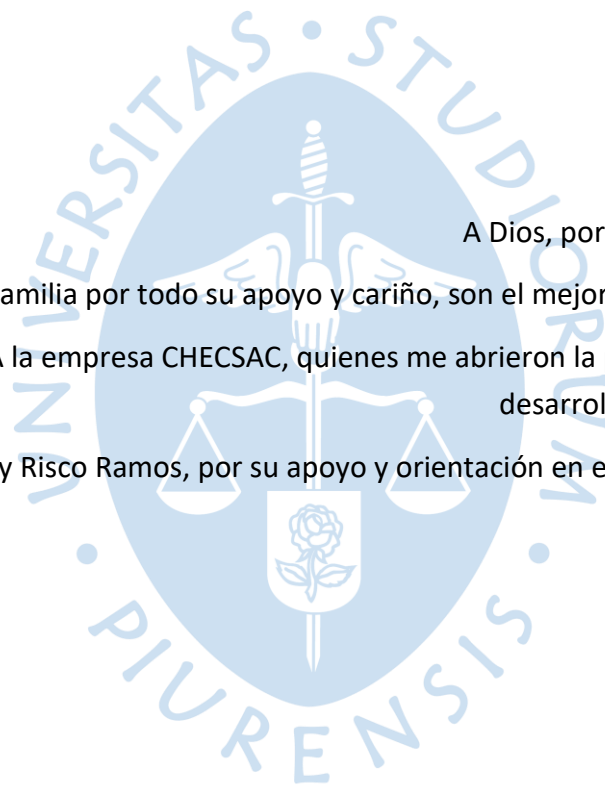
Agradecimientos

A Dios, porque todo proviene de Él.

A mi familia por todo su apoyo y cariño, son el mejor regalo que me dio Dios.

A la empresa CHECSAC, quienes me abrieron la puerta y me permitieron desarrollarme como profesional.

Al Dr. Ing. Redy Risco Ramos, por su apoyo y orientación en esta tesis de fin de grado.



Resumen

El presente trabajo de tesis busca analizar y mejorar el sistema de mantenimiento implementado por la empresa CHEC en el proyecto “Construcción del nuevo muelle San Nicolas” en la ciudad de Marcona, Ica. Para ello se propone el diseño de un sistema de mantenimiento basado en el uso de Indicadores clave de rendimiento (KPI) que permita a la empresa evaluar continuamente la eficiencia de las mejoras y el desempeño de la gestión aplicadas.

El estudio parte con evaluar el sistema tradicional de mantenimiento implementado por CHEC, con lo que se identificó problemas asociados a la veracidad y confiabilidad de la información recopilada, que impactaba en la mejora del mantenimiento ejecutado.

Como metodología se desarrolló e implementó una Orden de Trabajo (OT) digital utilizando la herramienta Google Forms, la cual fue aplicada bajo un enfoque piloto durante el mes de diciembre de 2025 a un grupo de equipos de la flota total del proyecto. Durante este periodo se registraron un total de 30 servicios de mantenimiento que brindaron información relevante sobre el desempeño del proceso de mantenimiento.

A partir de la información obtenida se diseñó el sistema mediante la elección de indicadores adecuados para el análisis del rendimiento del mantenimiento ejecutado, con lo que se determinó que los indicadores más convenientes eran la Disponibilidad Operativa, el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) y el Tiempo Medio de Reparación (MTTR). Con ello se procedió a evaluar estos indicadores, evidenciando una mayor trazabilidad de las intervenciones ejecutadas.

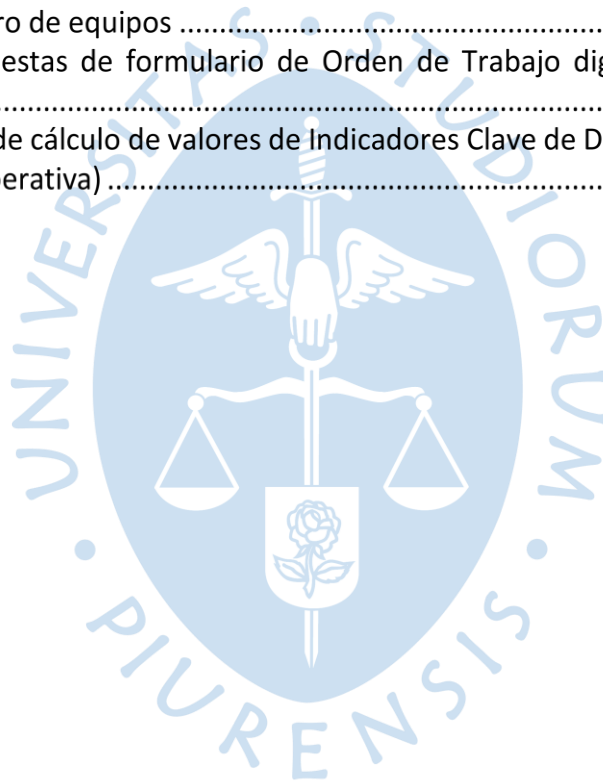
En base al análisis de los valores obtenidos del cálculo de indicadores clave de desempeño se determina una serie de mejoras al sistema inicial con el fin de disminuir el tiempo de ejecución de los servicios de mantenimiento y aumentar la Disponibilidad Operativa de los equipos.

Los resultados muestran que la Orden de Trabajo digital junto a la medición de Indicadores clave de rendimiento (KPI) contribuyen a mejorar la calidad de la información real del sistema de mantenimiento ejecutado, facilitando el análisis del estado real de los equipos y fortaleciendo la toma de decisiones orientadas a la mejora continua del mantenimiento.

Tabla de contenido

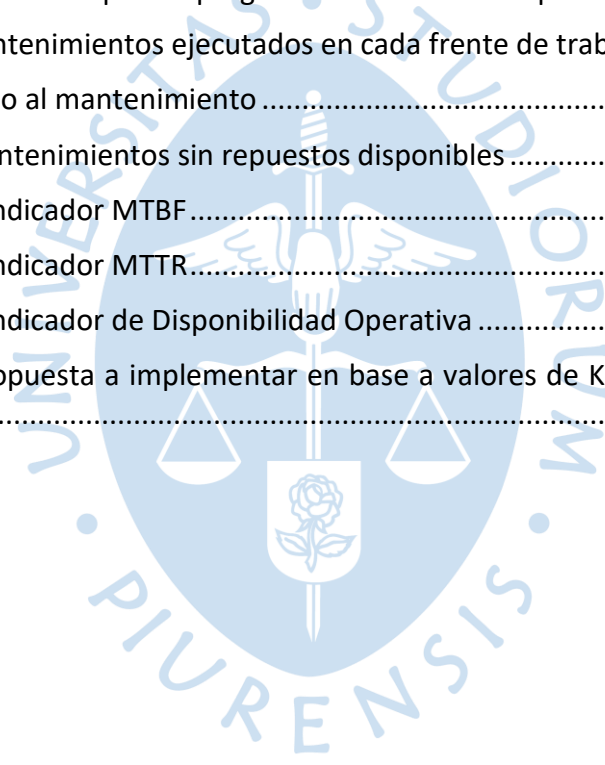
Introducción	10
Capítulo 1	11
Marco teórico.....	11
1.1 Mantenimiento.....	11
1.1.1 <i>Objetivos del mantenimiento industrial</i>	12
1.1.2 <i>Acciones básicas del mantenimiento</i>	13
1.1.3 <i>Rol del mantenimiento en una empresa constructora</i>	14
1.2 Tipos de mantenimiento	15
1.2.1 <i>Mantenimiento preventivo PM (Preventive Maintenance)</i>	16
1.2.2 <i>Mantenimiento correctivo CM (Corrective Maintenance)</i>	18
1.2.3 <i>Mantenimiento predictivo PdM (Predictive Maintenance)</i>	19
1.2.4 <i>Otras estrategias de mantenimiento</i>	21
1.3 Indicadores clave de desempeño (KPI) en el mantenimiento.....	22
1.3.1 <i>Tiempo medio entre Fallas MTBF (Mean Time Between Failures)</i>	22
1.3.2 <i>Tiempo medio de reparación MTTR (Mean Time To Repair)</i>	23
1.3.3 <i>Disponibilidad o disponibilidad inherente</i>	23
1.3.4 <i>Disponibilidad operativa</i>	24
1.3.5 <i>Porcentaje del mantenimiento planificado PMP (Planned Maintenance Percentage)</i>	24
1.3.6 <i>Índice de cumplimiento de mantenimiento preventivo PMC (Planned Maintenance Compliance)</i>	24
1.4 Sistemas de gestión de mantenimiento	25
1.4.1 <i>Formato de Orden de Trabajo (OT)</i>	25
1.4.2 <i>Sistema Computarizado de Gestión de Mantenimiento CMMS (Computerized Maintenance Management System)</i>	26
Capítulo 2	28
Desarrollo del trabajo.....	28
2.1 Descripción general de la empresa y estado actual del mantenimiento.....	28
2.1.1 <i>Estado general de la maquinaria</i>	30
2.1.2 <i>Tipo de mantenimiento que se aplica</i>	39
2.1.3 <i>Planificación y programación del mantenimiento</i>	41
2.1.4 <i>Documentación y registro</i>	42
2.1.5 <i>Gestión de repuestos y herramientas</i>	44
2.1.6 <i>Personal de mantenimiento</i>	45
2.2 Sistema de registro de la información.....	46
2.2.1 <i>Estado actual del sistema de registro de mantenimiento</i>	46
2.2.2 <i>Orden de Trabajo como herramienta de control</i>	46
2.3 Diseño del plan basado en Indicadores Clave de Desempeño (KPI)	58
2.3.1 <i>Selección de los Indicadores Clave de Desempeño (KPI) a implementar</i>	59
2.3.2 <i>Cálculo del Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF)</i>	60
2.3.3 <i>Cálculo del Tiempo Medio de Reparación (MTTR)</i>	61
2.3.4 <i>Cálculo de la Disponibilidad Operativa</i>	62
2.4 Análisis y discusión de resultados	65

2.4.1 Impacto de la implementación de la Orden de Trabajo digital en la gestión del mantenimiento	65
2.4.2 Comportamiento de los Indicadores Clave de Desempeño	65
2.4.3 Propuestas de mejoras al sistema de mantenimiento	70
Conclusiones.....	72
Recomendaciones	74
Glosario	75
Lista de abreviaturas	77
Referencias.....	78
Apéndice.....	80
Apéndice A. Ficha de registro en campo de equipos	80
Apéndice B. Maestro de equipos	81
Apéndice C. Respuestas de formulario de Orden de Trabajo digital aplicado el mes de diciembre.....	82
Apéndice D. Tabla de cálculo de valores de Indicadores Clave de Desempeño (MTBF, MTTR y Disponibilidad Operativa)	83



Lista de tablas

Tabla 1 Actividades basicas de mantenimiento.....	13
Tabla 2 Influencia del mantenimiento en el rubro de la construcción.....	15
Tabla 3 Distribución de equipos por empresa	31
Tabla 4 Distribucion de cantidad de equipos por año de fabricación	32
Tabla 5 Distribución de equipos por empresa por año de fabricación.....	34
Tabla 6 Distribucion de equipos críticos por familia por empresa	36
Tabla 7 Distribucion del estatus de los equipos críticos y no críticos de CHEC y Haiyuan	38
Tabla 8 Distribución de los mantenimientos realizados entre los meses de agosto y noviembre	40
Tabla 9 Evaluación de los campos de pregunta del cuestionario para la OT digital	49
Tabla 10 Tipos de mantenimientos ejecutados en cada frente de trabajo	54
Tabla 11 Estatus previo al mantenimiento	56
Tabla 12 Datos de mantenimientos sin repuestos disponibles	57
Tabla 13 Cálculo del indicador MTBF	61
Tabla 14 Cálculo del indicador MTTR.....	62
Tabla 15 Cálculo del indicador de Disponibilidad Operativa	64
Tabla 16 Acciones propuesta a implementar en base a valores de KPI obtenidos por equipo	70



Lista de figuras

Figura 1 Representación de la dinámica de un sistema de mantenimiento	12
Figura 2 Efectos de consecuencias de una falla funcional en el proyecto.....	12
Figura 3 Sistemas de mantenimiento	16
Figura 4 Ciclo gráfico del mantenimiento preventivo	17
Figura 5 Ciclo gráfico del mantenimiento correctivo.....	19
Figura 6 Herramientas utilizadas por el mantenimiento predictivo.....	20
Figura 7 Ciclo gráfico del mantenimiento predictivo.....	21
Figura 8 Orden de Trabajo emitida por la CMMS MPSoftware	26
Figura 9 Mapa que traza la distancia entre el proyecto y la ciudad de marcona.....	29
Figura 10 Diagrama de cantidad de equipos por año de fabricación	33
Figura 11 Diagrama de distribucion de equipos por antigüedad y por empresa	34
Figura 12 Gestión de los documentos en Google Drive.....	48
Figura 13 Sección 1 de la OT digital	51
Figura 14 QR implementado	52
Figura 15 Distribución de mantenimientos ejecutados.....	53
Figura 16 Diagrama de barras de tipos de mantenimientos ejecutados por frente de trabajo	55
Figura 17 Diagrama de distribución de estatus de los equipos antes del servicio de mantenimiento.....	56
Figura 18 Disponibilidad de repuestos.....	57
Figura 19 Gráfica de barras de los valores del indicador MTBF en el mes de diciembre	66
Figura 20 Valores de MTTR de los equipos en el mes de diciembre	68
Figura 21 Disponibilidad Operativa de los equipos en el mes de diciembre.....	69

Introducción

El sector construcción genera un fuerte impacto en la economía del Perú, con tasas de crecimiento promedio trimestral entre 3 % y 6 % en los últimos años (Andina, 2025). Este desempeño refleja no solo su aporte al valor agregado nacional, sino también su importante rol en la generación de empleo, brindando trabajo a alrededor de 1,1 millones de peruanos (Cuadros, 2025). Tan solo en junio de 2025, el sector registró un crecimiento interanual de 9,57 %, aportando 0,56 puntos porcentuales al incremento del Producto Bruto Interno (PBI) nacional de ese mes (Hokama, 2025).

Por ello se está en la búsqueda constante de la mejora de la eficiencia operativa de cada uno de sus procesos, siendo la gestión del mantenimiento de los activos una parte fundamental de esta, ya que deben encontrarse completamente operativos y funcionales para el desarrollo de las actividades. En este contexto, el mantenimiento preventivo se ha convertido en una estrategia esencial para garantizar la operatividad y prolongar la vida útil de los equipos (Villegas, 2024).

Para evaluar el éxito de un objetivo específico en el mantenimiento, se utilizan indicadores o métricas de desempeño KPI (Key Performance Indicators), los cuales permiten cuantificar el progreso en áreas como eficiencia, tiempo de inactividad o fiabilidad de los activos. Entre los indicadores más comunes en mantenimiento destacan: el Tiempo Medio Entre Fallas MTBF (Mean Time Between Failure), el Tiempo Medio de Reparación MTTR (Mean Time to Repair) y la Disponibilidad.

La empresa en la que se centra el presente estudio, China Harbour Engineering Company (CHEC), es una constructora y subsidiaria de China Communications Construction Company (CCCC). Se especializa en la construcción de infraestructura básica, como ingeniería marítima, dragado y recuperación de tierras, carreteras y puentes, ferrocarriles, aeropuertos, plantas industriales completas y otras obras de gran escala (CHEC, 2022). CHEC opera internacionalmente en más de 90 países y regiones, a través de sus sucursales, filiales y oficinas de representación en el extranjero (CHEC América, 2025) En el Perú, la empresa inició operaciones en 2013, participando en distintos proyectos dentro de infraestructura dentro del rubro de la construcción. Su principal obra en el país es la primera etapa del Proyecto Puerto Multipropósito de Chancay, ubicado al norte de Lima; proyecto el cual impacta en el crecimiento económico del país en un promedio estimado de US\$4500 millones anuales, lo que representaría aproximadamente el 1,8% del PBI peruano y generando más de 8000 empleos directos durante su ejecución (Gobierno del Perú, 2024). Actualmente, la empresa desarrolla proyectos para la minera Shougang Hierro Perú en la ciudad de Marcona, región de Ica, destacando la construcción del Nuevo Muelle de San Nicolas, proyecto en el cual se enfoca el presente trabajo de investigación.

Capítulo 1

Marco teórico

El presente capítulo desarrolla los fundamentos teóricos que sustentan este proyecto. En primer lugar, se presentan diferentes definiciones de lo que es mantenimiento, su clasificación, los objetivos que tiene y las acciones básicas que desarrolla. Posteriormente se define el rol que cumple el mantenimiento de maquinarias en un proyecto de construcción, que es el proyecto al que está enfocado este estudio. Se continúa con mencionar cuales son las diferentes clases de mantenimientos desarrollados en la industria para finalmente introducir los indicadores clave de desempeño, en donde se menciona su definición y función en un plan de mantenimiento.

1.1 Mantenimiento

Iniciaremos explorando las definiciones de mantenimiento en base a distintas normativas:

La normativa UNE-EN 13306:2017 define al mantenimiento como la combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión realizadas durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o a devolverlo a un estado en el que pueda desempeñar la función requerida (UNE, 2018).

La norma ISO 14224:2016 define al mantenimiento como la combinación de acciones técnicas y administrativas, incluyendo supervisión, cuyo fin es mantener o reparar el aparato para que opere en un estado que le permita realizar las funciones requeridas (ISO, 2016).

La normativa IEEE Std 3007.2:2010 define al mantenimiento como las acciones necesarias para asegurar que los equipos físicos puedan realizar sus funciones previstas de manera segura, confiable y económica (Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE, 2010).

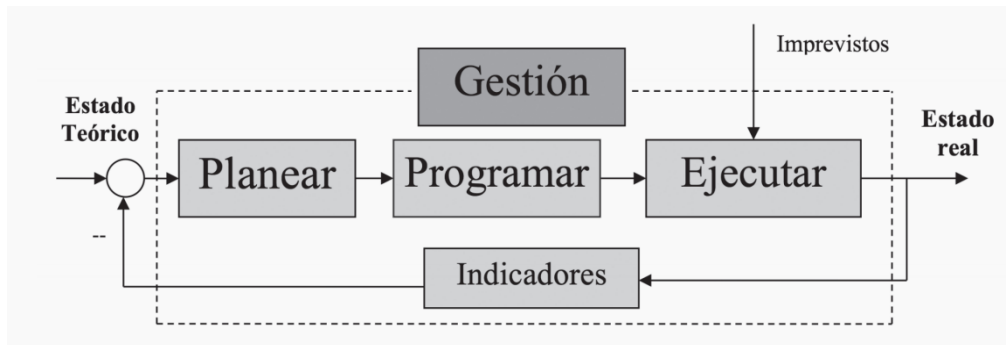
En “Fundamentos de mantenimiento industrial” el ingeniero (Montilla, 2016) menciona al mantenimiento como el conjunto de recursos físicos, recursos humanos, tecnología e información, que acoplados buscan mejorar la eficiencia del sistema de producción disminuyendo los paros, aumentando la confiabilidad del equipo y garantizando la seguridad y un nivel de costos rentable. Así mismo lo menciona como una disciplina inherente a la producción y la cual no se puede concebir aparte de ella.

En base a estas definiciones, el mantenimiento puede conceptualizarse como una actividad dinámica y no estática, debido a que, con el transcurso del tiempo, el estado de los distintos equipos de la flota tiende a deteriorarse. Como consecuencia, las intervenciones de mantenimiento aumentan de manera progresiva, lo que hace necesario un replanteamiento constante del estado nominal de los equipos, así como de las actividades de planeación, programación y ejecución correspondientes.

En mantenimiento las tareas de planeación, programación, ejecución, construcción de indicadores y comparación, son actividades técnico-administrativas que requieren de una permanente gestión para que los resultados sean satisfactorios (Montilla, 2016).

Figura 1

Representación de la dinámica de un sistema de mantenimiento



Nota. Reproducido de “Fundamentos de mantenimiento industrial” por C. Montilla.

1.1.1 Objetivos del mantenimiento industrial

Teniendo en cuenta que el mantenimiento busca apoyar el cumplimiento de logros de una empresa, el ingeniero (Montilla, 2016) determinar que el mantenimiento tiene los siguientes objetivos:

- Minimizar las fallas funcionales (parada imprevistas) de los equipos y los costos asociados a ellas.



- Asegurar unos costos operativos razonables de los equipos, y procurar mejoras de ellos.
- Maximizar la inversión en planta y equipos, asegurando el cumplimiento de mínimo su vida útil esperada: para ello se hace introducción al término *Costo de Posesión CP*, el cual es el costo en que se incurre por el sólo hecho de adquirir la máquina/equipo, así opere o no.
- Asegurar que los equipos operen de manera segura para los usuarios y para el medio ambiente.

1.1.2 Acciones básicas del mantenimiento

Sin importar lo compleja de la estructura de Mantenimiento en una organización, su operación siempre podrá fraccionarse en acciones básicas como las mostradas a continuación (Montilla, 2016):

Tabla 1

Actividades básicas del mantenimiento

Tipo de actividad	Actividad	Acción básica
Administrativa	Planear	Elección de los sistemas de Mantenimiento a seguir
		Elaborar presupuestos generales
		Recomendar cambio de máquinas/equipos
		Seleccionar máquinas/equipos
Administrativa	Programar	Cronograma de actividades
		Instrucción de actividad
		Insumos, repuestos, herramientas
		Personal ejecutante
		Tiempo de ejecución
Operativas	Ejecutar	Instalar
		Poner a punto (ajustar)
		Calibrar
		Inspeccionar

		Limpiar
		Lubricar
		Cambiar
		Reparar
		Modificar
Operativa	Medir	Recolectar y procesar información de campo
Administrativa		Elaborar indicadores
Administrativa		Registrar actividades desarrolladas
Administrativa	Controlar	Comparar resultados obtenidos versus lo planeado, y tomar decisiones (revisar y ajustar los planos)

Nota. Reproducido de “Fundamentos de mantenimiento industrial” por C. Montilla.

1.1.3 Rol del mantenimiento en una empresa constructora

En una empresa constructora, el mantenimiento no genera un producto final, pero sí impacta directamente en la eficiencia, costos y cumplimiento de plazos del proyecto. Su influencia es indirecta, pero estratégica: aunque las máquinas o equipos a los que se realiza el mantenimiento no producen bienes, permiten que las actividades constructivas se realicen según el cronograma y dentro del presupuesto estipulado.

Entre los factores en los que impacta el mantenimiento dentro del rubro de la construcción encontramos:

- Disponibilidad operativa:
 - Mantener los equipos disponibles y operativos evita retrasos en obra.
 - Indicadores relacionados: disponibilidad operativa, MTBF y MTTR.

- Costos operativos y de proyecto:
 - Un mantenimiento preventivo adecuado reduce costos correctivos y minimiza el alquiler de equipos externos.
 - Esto impacta directamente en el presupuesto de obra y en la rentabilidad del proyecto.

- Cumplimiento de plazos y cronogramas:
 - Equipos en buen estado contribuyen a cumplir los hitos del proyecto.
 - Una falla mecánica puede detener trabajos críticos, afectando el rendimiento y las entregas al cliente.

- Seguridad y condiciones de trabajo:
 - Un mantenimiento adecuado reduce los riesgos laborales y mejora la seguridad en obra.
 - Las fallas mecánicas pueden ocasionar accidentes o pérdidas materiales.

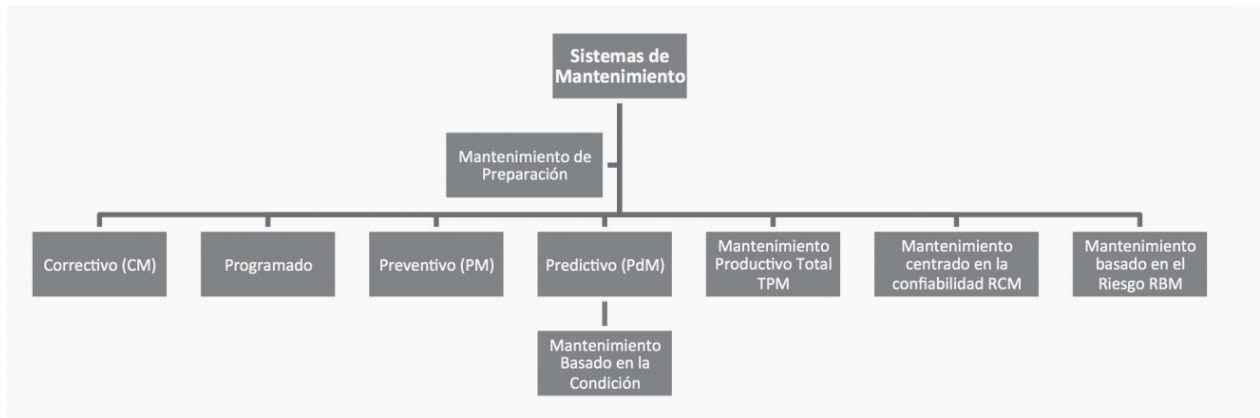
Tabla 2

Influencia del mantenimiento en el rubro de la construcción

Tipo de impacto	Cómo influye el mantenimiento
Operativo	Asegura la disponibilidad y confiabilidad de los equipos
Económico	Reduce costos correctivos y evita gastos por alquiler o retrasos.
Productivo	Permite cumplir cronogramas y mantener el flujo de actividades.
Seguridad	Previene accidentes y daños materiales

1.2 Tipos de mantenimiento

La clasificación de los tipos de mantenimiento aplicados en la industria es variada, sin embargo, se puede presentar como los principales y los más utilizados en la industria al Mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo y al mantenimiento predictivo, sin embargo, dentro de los sistemas de mantenimiento se encuentran otros tipos de mantenimientos los cuales se expresan en la Figura 3.

Figura 3*Sistemas de mantenimiento*

Nota. Reproducido de “Fundamentos de mantenimiento industrial” por C. Montilla.

En la *figura 3* se observa que previo a la mención de los distintos tipos de mantenimiento presentes en la industria se hace mención al Mantenimiento de preparación, lo cual describe a todas las actividades que se realizan previamente a una intervención de mantenimiento, como lo son la obtención de repuestos, la preparación de la herramientas y equipos requeridos para los mantenimientos previstos o de emergencia, fabricación u obtención de partes, preparación de área para el desamable de los equipos, etc. El mantenimiento de preparación está siempre presente en todos los sistemas de mantenimiento.

A continuación, se describe cada uno de los tipos de mantenimiento expuesto en la *figura 3*, en donde se hace principal mención a los mantenimientos correctivos, preventivos y predictivos debido a que estos suelen ser los principales tipos de mantenimientos presentes en la industria.

1.2.1 Mantenimiento preventivo PM (Preventive Maintenance)

Es un tipo de mantenimiento orientado a evitar las paradas no programadas, en donde aprovecha el momento más oportuno al involucrar tanto al área de Producción como al área de Mantenimiento en su planificación con el fin de maximizar su eficiencia. Este tipo de mantenimiento permite preparar herramientas, repuestos e insumos y seleccionar al personal más capacitado para su ejecución asegurando seguridad y rapidez.

Se basa en la ejecución de tareas básicas: observar, inspeccionar, calibrar, ajustar, cambiar, lubricar, reparar, limpiar, restaurar, etc. La ejecución de tareas básicas puede indicar la necesidad de realizar tareas programadas adicionales como mantenimientos correctivos programados, modificaciones, overhaul, etc.

Estas tareas se realizan a una frecuencia fija de espacio de tiempo, horas de marcha, ciclos, kilómetros, volumen de producción, etc. Estos intervalos deben estimarse con la mayor

exactitud posible, y no debiera importar el estado particular del elemento a sustituir o restaurar al momento de realizar el trabajo. Normalmente es necesario que la instalación se encuentre fuera de servicio.

En algunos equipos es necesario justificar cierta rentabilidad económicas para su aplicación, ya que, si no se realiza un análisis técnico-económico adecuado y se aplica deliberadamente, puede incrementarse sustancialmente los gastos de mantenimiento sin obtener mejoras en la confiabilidad ni en la disponibilidad (Pistarelli, 2010).

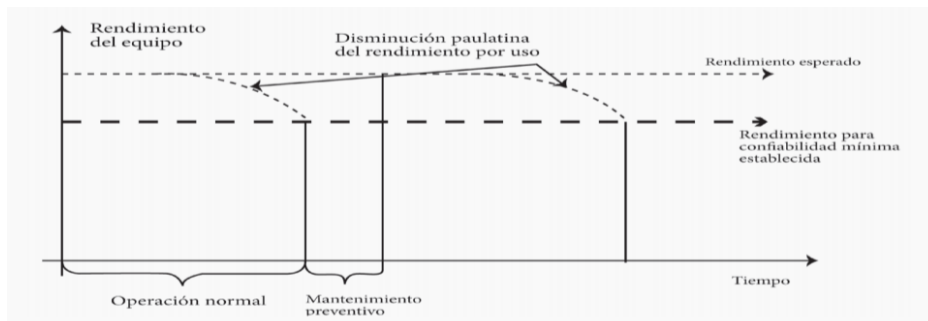
Entre los objetivos de un Mantenimiento Preventivo encontramos (Pistarelli, 2010):

- Aumentar la disponibilidad de los activos industriales a través de la disminución de las detenciones no programadas.
- Minimizar las averías imprevistas de los equipos.
- Mejorar el aprovechamiento de mano de obra por medio de la programación de tareas.
- Mejorar la calidad de productos y servicios.
- Disminuir el riesgo para el personal en las operaciones de producción y mantenimiento.
- Minimizar los gastos debido a reparaciones de emergencia.
- Disminuir el impacto ambiental por medio de una mejor planificación de tareas.

En la *figura 4* se muestra un gráfico de nivel de rendimiento versus tiempo de un mantenimiento preventivo. En él se aprecia que el equipo arranca desde un rendimiento esperado, que al pasar de tiempo se degrada hasta llegar a un rendimiento de confiabilidad mínima estipulada por el equipo de Mantenimiento, una vez llegado a dicho rendimiento de confiabilidad el mantenimiento preventivo lo restituye hacia el rendimiento esperado donde se repite de forma cíclica esta dinámica.

Figura 4

Ciclo gráfico del mantenimiento preventivo



Nota. Reproducido de “Fundamentos de mantenimiento industrial” por C. Montilla.

1.2.2 Mantenimiento correctivo CM (Corrective Maintenance)

Este tipo de mantenimiento es el que se realiza a averías o fallos funcionales a medida que se van produciendo. Debido a la espontaneidad de la falla es el mismo operador del equipo o máquina quien realiza el aviso al personal especializado ante la aparición de un defecto, a su vez es esta misma espontaneidad que hace que este tipo de mantenimiento requiera de muy poco planeamiento.

En base a la descripción de mantenimiento correctivo brindado por Alejandro (Pistarelli, 2010) podemos decir que presenta las siguientes consecuencias:

- Debido a las acciones deliberadas y no controladas de este tipo de mantenimiento es que un plan de mantenimiento basado a la repentina aparición de fallas requiere contar con excesivo personal en el equipo.
- Basarse solo en reparaciones inmediatas lleva que no todas sean definitivas, lo que puede producir fallos crónicos.
- Un excesivo mantenimiento correctivo tiende a incrementar el número de equipos en *stand-by* lo que provoca elevados niveles de capital inmovilizados.
- Debido a aleatoriedad de los eventos dificulta la confección de presupuestos, lo que incrementa los gastos de operación y mantenimiento.
- Las averías repentinas provocan un impacto desfavorable en la operación, deteniéndola y generando grandes pérdidas en cantidad y calidad.
- Debido a que generalmente requiere procedimientos acelerados de reparación para reponer el ítem lo antes posible, pone en riesgo de accidentes a los trabajadores involucrados.

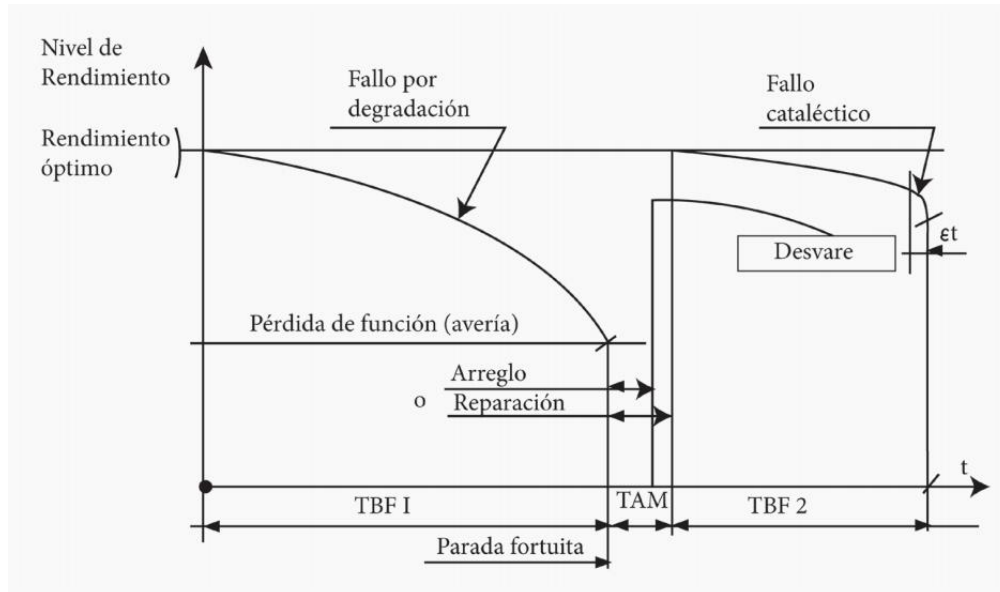
En base a las definiciones de falla funcional y falla potencial, el ingeniero Carlos (Montilla, 2016) subdivide al mantenimiento preventivo en:

- Correctivo de emergencia: es el aplicado ante una falla funcional (tipo de falla que impide la continuidad de operación del equipo) inesperada durante el proceso de producción, lo que detiene y trastorna la misma. Entre sus consecuencias principales tenemos: pérdidas de producción, accidentes laborales, incumplimiento a los clientes, problemas de calidad y daños ambientales.
- Correctivo de programado: es aplicado ante una falla potencial (tipo de falla que no inhabilita al equipo pero que alerta una falla funcional) pero cuyo impacto no es dramático y permite culminar la jornada o ciclo de producción.

En una empresa se debe evitar a toda costa la ocurrencia de correctivos de emergencia donde siempre será necesario un porcentaje de mantenimiento correctivo programado, debido al normal desgaste y deterioro de los diferentes componentes de los equipos (Montilla, 2016).

Figura 5

Ciclo gráfico del mantenimiento correctivo



Nota. Reproducido de “Fundamentos de mantenimiento industrial” por C. Montilla.

En la *figura 5* se muestra un gráfico de nivel de rendimiento versus tiempo de un mantenimiento correctivo. En dicho gráfico podemos observar que el TBF 2 es menor al TBF1, lo que expresa que a medida que se van presentando averías en el equipo el Tiempo entre falla (Time Between Failures - TBF) es cada vez menor, esto ocurre hasta que llega a presentarse el fallo cataléptico (fallo repentino que se da e impide la continuación de la actividad) que lleva a evaluar la relación costo-beneficio de cambiar el equipo o efectuarle una reparación general u *overhaul*. En esta imagen también es importante la curva de desvare, la cual representa a una reparación de baja calidad y da prontamente al servicio del equipo. En el desvare no se lleva la máquina a su nivel de rendimiento previo a la varada, por lo que corre el riesgo de volver a vararse.

1.2.3 Mantenimiento predictivo PdM (Predictive Maintenance)

El mantenimiento predictivo es aquel mantenimiento basado en estudiar los síntomas de las fallas y predecir la ocurrencia de la falla de una máquina, midiendo y analizando los cambios en las variables de operación de esta. Normalmente se realiza con el equipo o instalación en servicio.

Propone que es posible detectar síntomas prematuros de desperfectos o desajustes, algún tiempo que se produzca una detención no deseada. Se presume que algunos elementos “avisan” antes de llegar a la falla operacional, esto mediante a la detección de la falla incipiente, para con ello contar con el tiempo suficiente para programar su reemplazo o reparación (Pistarelli, 2010).

Figura 6*Herramientas utilizadas por el mantenimiento predictivo*

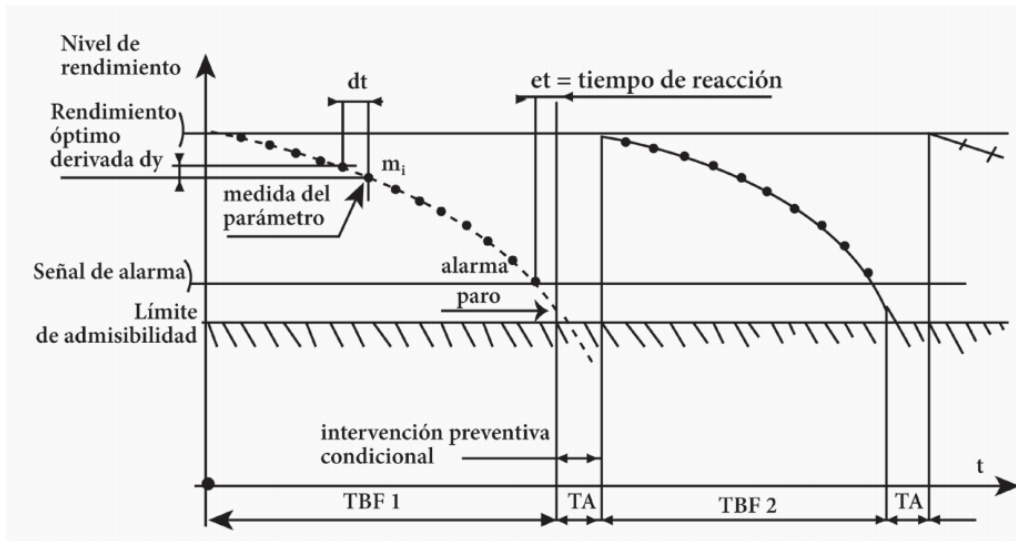
El mantenimiento predictivo se apoya en tecnologías y técnicas específicas tales como: análisis de vibraciones (permanentes o periódicas), termografía infrarroja, análisis de aceites en uso, ensayo de tintas penetrantes, análisis de partículas de desgaste, análisis de amperaje, rayos X, ensayos con partículas magnéticas, verificación de metales y aleaciones, etc.

En la figura 7 se muestra el gráfico del nivel de rendimiento en función del tiempo para un mantenimiento predictivo. En dicho gráfico se observa que el equipo inicia su operación con un rendimiento óptimo, el cual se degrada progresivamente a medida que transcurre el tiempo y se utiliza el equipo. En intervalos regulares de tiempo, denominados Δt , se realizan mediciones de parámetros mediante las diferentes herramientas presentadas en la figura 6, hasta que alguno de estos parámetros alcanza el valor de la variable definida como señal de alarma.

A partir de ese momento se dispone de un tiempo de reacción, durante el cual el personal de mantenimiento se prepara para la llegada del equipo al valor de rendimiento denominado límite de admisibilidad. En este punto, se detiene el funcionamiento del equipo para ejecutar la intervención de mantenimiento correspondiente, con el fin de restituir su nivel de rendimiento óptimo.

Figura 7

Ciclo gráfico del mantenimiento predictivo



Nota. Reproducido de "Fundamentos de mantenimiento industrial" por C. Montilla.

1.2.4 Otras estrategias de mantenimiento

En el presente apartado se hará una breve presentación de las otras estrategias de mantenimiento mostradas en la figura 3; sin embargo, debido a que no se enfocan o utilizan en la empresa a estudiar, entonces no se profundizará en ellos.

- **Mantenimiento programado:** es aquel se ejecuta deteniendo el equipo cada que se cumpla un lapso predeterminado, procediendo luego a llevar unas actividades de limpieza, lubricación, desarme, cambio de partes de recambio y posterior rearme; generalmente el lapso es el recomendado por el fabricante del equipo, desconociendo la cantidad e intensidad real de trabajo que haya efectuado el equipo.
- **Mantenimiento Productivo Total TPM (Total Productive Maintenance):** en este tipo de mantenimiento estipulado por (Montilla, 2016) maximiza la relación entre los resultados obtenidos versus los recursos empleados, estipulando que Productividad es producir bien lo máximo con lo mínimo.
- **Mantenimiento centro en la confiabilidad RCM (Reliability Centered Maintenance):** es un tipo de mantenimiento que pone especial énfasis en el funcionamiento global del sistema, más que en el de cada equipo individualmente; un equipo no es intrínsecamente importante, sino por la función que desempeñe dentro de un proceso productivo. Esto lo hace al optimizar la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, en función de cuán críticos son los activos, tomando en cuenta los posibles efectos que originarán los

modos de falla de dichos activos, sobre la seguridad, al ambiente, a las operaciones (Montilla, 2016) .

- **Mantenimiento Basado en el Riesgo RBM (Risk Based Maintenance):** es un sistema de mantenimiento de última generación en el que se direccionan los recursos de mantenimiento hacia los equipos que en un análisis probabilidad-riesgo determine que son los más riesgosos. Este tipo de mantenimiento es apto para ser aplicado en plantas cuya operación encarna alta peligrosidad, como las petroquímicas, nucleares, biológicas, etc. En RBM se hace uso de Sistemas Integrados de Seguridad SIS, con el objetivo de llevar el Riesgo a niveles aceptables o tolerables.

1.3 Indicadores clave de desempeño (KPI) en el mantenimiento

Se denominan indicadores clave de mantenimiento o KPI (*Key Performance Indicators*) a las medidas cuantitativas empleadas para evaluar y monitorear el desempeño de las actividades de mantenimiento. Estos permiten analizar y cuantificar la gestión realizada, proporcionando información clave para la toma de decisiones.

Asimismo, contribuyen a reducir costos, minimizar los tiempos de inactividad de los equipos, mejorar la seguridad laboral y evidenciar la eficiencia de la gestión del mantenimiento (Villegas, 2024).

La efectividad de un indicador depende de quién, para qué y cómo lo use. Además, un único indicador no es suficiente para tomar decisiones. Es conveniente trabajar con un paquete o conjunto de indicadores sistémicos que evalúen la realidad integralmente (Pistarelli, 2010).

Los indicadores pueden variar según el tipo de industria, así como de acuerdo con los objetivos y prioridades que la empresa o el área de mantenimiento busque evaluar (Calle, 2024).

1.3.1 Tiempo medio entre Fallas MTBF (*Mean Time Between Failures*)

Este indicador es vital para determinar la fiabilidad de un sistema o equipo, ya que expresa el tiempo promedio de operación de un equipo o sistema sin presentar fallas, refiriéndose así al tiempo de funcionamiento correcto de los equipos (Calle, 2024).

Este indicador es el resultado de dividir el tiempo total de operación entre el total de fallas ocurridas en un intervalo a estudiar.

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

No existe un valor universalmente bueno para el MTBF, ya que su adecuación depende del contexto específico y de los objetivos de operación. Debe estar siempre alineado con las expectativas de rendimiento y la criticidad del sistema en análisis (Villegas, 2024).

1.3.2 Tiempo medio de reparación MTTR (Mean Time To Repair)

Este indicador permite cuantificar la rapidez con la que se logra restituir un equipo a óptimas condiciones tras una falla. Lo que se busca es que este valor sea lo menor posible. El MTTR depende de factores como accesibilidad, facilidad de diagnóstico, personal calificado, herramientas y principalmente tener asegurado el stock de los componentes críticos o de mayor relevancia (Calle, 2024).

La ecuación del Tiempo medio de reparación se obtiene al dividir el tiempo total de reparación de un equipo entre el número de fallas presentes en un tiempo determinado. Ello se expresa en la siguiente ecuación:

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{Número de fallas}}$$

Una reducción progresiva del MTTR es una señal positiva del desempeño de un área de mantenimiento eficiente, capaz de restaurar el servicio de los activos en el menor tiempo posible (Gomez, 2025).

1.3.3 Disponibilidad o disponibilidad inherente

Refleja el porcentaje en que un equipo está operativo para realizar su función asignada bajo una condición de trabajo específico y en un entorno ideal. Este parámetro no contempla los mantenimientos planeados, sólo abarca la distribución del tiempo para reparar y distribución de fallas. Este indicador es clave para demostrar la buena gestión de mantenimiento que se le hace a un activo (Calle, 2024).

La ecuación que lo determina involucra a los indicadores MTBF y MTTR, por lo que si se desea incrementar el valor de la disponibilidad inherente se puede lograr al influir en dichos parámetros.

La ecuación de la Disponibilidad es expresada a continuación:

$$\text{Disponibilidad inherente} = \left(\frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \right) \times 100$$

Este indicador es fundamental en contextos industriales donde la continuidad operativa es crucial. Una alta disponibilidad indica que el sistema presenta pocas fallas y que estas son resueltas rápidamente, garantizando así la confiabilidad del proceso productivo (Pistarelli, 2010).

1.3.4 Disponibilidad operativa

Este indicador considera al sistema o equipo operando en condiciones normales de operación, involucrando los periodos de mantenimiento (tanto planificados como no planificados), así como los tiempos asociados a retrasos logísticos y administrativos; abarcando así todos los intervalos relacionas con el estado de reparación (Calle, 2024).

El indicador de Disponibilidad operativa está expresado por la siguiente ecuación:

$$DO = \left(\frac{\text{Horas de trabajo requerido} - \text{Horas de mantenimiento}}{\text{Horas calendario de trabajo requerido}} \right)$$

1.3.5 Porcentaje del mantenimiento planificado PMP (Planned Maintenance Percentage)

Se define como el porcentaje de horas de mantenimiento planificadas entre el total de horas gastadas en total en el mantenimiento (Villegas, 2024).

Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\%PMP = \frac{\text{Horas de mantenimiento planificadas}}{\text{Total de horas de mantenimiento}} \times 100$$

Se considera que un mantenimiento es óptimo cuando el PMP tiene un valor superior al 85% (Villegas, 2024).

1.3.6 Índice de cumplimiento de mantenimiento preventivo PMC (Planned Maintenance Compliance)

Este indicador permite evaluar la eficacia de la planificación del mantenimiento y la capacidad de una organización para evitar reparaciones no planificadas.

Este indicador mide la proporción de actividades de mantenimiento ejecutadas entre el número total de actividades de mantenimiento planificadas.

$$PMC = \frac{\text{Número de tareas ejecutadas}}{\text{Número de tareas planificadas}} \times 100$$

Se tiene un buen programa de mantenimiento cuando el valor del PMC está por encima del 90% (Villegas, 2024).

1.4 Sistemas de gestión de mantenimiento

1.4.1 Formato de Orden de Trabajo (OT)

Son los documentos que se le entregan al ejecutante u operario para que proceda a ejecutar una labor de Mantenimiento. Estos documentos bien pueden ser manuales o digitales (Montilla, 2016).

Constituye el soporte básico mediante el cual se autoriza, documenta y ejecuta una intervención sobre un equipo o sistema. Su función es centralizar y registrar toda la información relativa a la operación realizada, permitiendo así organizar, controlar y analizar técnicamente la actividad de mantenimiento (Pistarelli, 2010).

Las OT se subdividen en Estándar y No Estándar. Una OT Estándar (OTs) es aquella que resulta de aplicar un Plan de Mantenimiento Preventivo, por lo que tienen una frecuencia e instructivo asociados. Una OT no Estándar (OTnS) no obedece al Plan de Mantenimiento Preventivo, y regularmente no tiene asociadas frecuencias e instructivos.

Los modelos de OT son varios, pero como mínimo debe de constar con los siguientes apartados (Montilla, 2016):

- Fecha de elaboración.
- Fecha en la que se debe ejecutar la tarea.
- Hora de ejecución (si es preciso).
- Nombre del ejecutante.
- Instructivo asociado (sea genérico o específico).
- Máquina/ equipo a intervenir.
- Nombre y cargo de quién la programa.
- Espacio para observaciones.
- Espacio para la firma del ejecutante.

A una OT se le asigna diferentes estatus:

- Emitida.
- En espera de autorización.
- Autorizada.
- En espera de materiales.
- En ejecución.
- Cerrada.
- Reprogramada.
- Cancelada.

Según (Pistarelli, 2010), una de las principales fortalezas de la OT es su capacidad para generar un historial técnico completo por cada activo, lo cual resulta imprescindible para

tomar decisiones informadas, establecer prioridades, identificar reincidencias y estimar costos reales del mantenimiento.

Además, permite integrar los datos recopilados al cálculo de indicadores como MTTR, MTBF y disponibilidad operativa, fortaleciendo así el control técnico y económico del proceso de mantenimiento (Gomez, 2025).

Figura 8

Orden de Trabajo emitida por la CMMS MPSoftware

ORDEN DE TRABAJO IMPRESA

Grupo: _____ Centro de Costo: SERV. GUALES noviembre 4, 1997
 Pendientes al: 411/97 Lectura Actual: 24298 Hrs. 1:34PM
 Prioridad Actividad: [Icon] Especialidad Actividad: [Icon]
 Asignado a: ROBERTO AYALA Foto: 28

Realizó: _____ Hora Inicial: _____
 Aprobó: _____ Hora Final: _____
 Vale almacén: _____ Duración: _____

	Próximo mantenimiento	Realizado
MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS:		
- LIMPIAR: Filtros\ [Icon]	24120	<input type="checkbox"/>
MANTENIMIENTOS CORRECTIVOS:		
- REVISAR PERDIDA DE CAPACIDAD EN EL SISTEMA [Icon]	24298	<input type="checkbox"/>

1.- Limpiar los tubos del enfriador.
 2.- Rectificar el refrigerante eliminando el exceso de aceite.
 3.- Regular la velocidad según la carga.
 4.- Revisar las placas divisorias.
 5.- Revisar y reemplazar juntas rotas en la caja de agua del enfriador.

Comentarios Generales:
 Favor de revisar al Ing. Ramón Cárdenas cuando los trabajos hayan terminado.

pag. 4 de 4
 MENU

Nota. Reproducido de "Fundamentos de mantenimiento industrial" por C. Montilla.

1.4.2 Sistema Computarizado de Gestión de Mantenimiento CMMS (Computarized Maintenance Management System)

Es una herramienta informática que gestiona la información concerniente a Mantenimiento. Pueden tomar configuraciones tan sencillas como una hoja electrónica de Excel, como pueden serlo aplicaciones más complejas como Visual Basic soportadas por bases de datos Access, llegando a aplicaciones complejas embebidas en software corporativos (Montilla, 2016).

Una CMMS debe ser capaz de procesar la siguiente información:

- Creación de un plan de Mantenimiento.
- Gestión de las OT.
- Planeación y programación de recursos (físicos, humanos, información, etc).
- Elaboración de indicadores de gestión.

- Gestión de costos (presupuesto).
- Elaboración de informes gerenciales.

Los tipos y funcionalidades de los CMMS se pueden clasificar según el alcance de la empresa al que se va a ser aplicado, clasificándose de la siguiente forma (Montilla, 2016):

- CMMS para microempresas: suelen ser hojas electrónicas sencillas (en excel regularmente) diseñadas por el encargado de Mantenimiento, cumplen un cometido básico.
- CMMS para pequeñas y medianas empresas: son más completas que las CMMS mencionadas anteriormente, y tienen como característica que no tienen conectividad con otras dependencias de la compañía (por ejemplo, Recursos Humanos, Contabilidad, Almacén, etc.).
- CMMS para grandes empresas: gestionan la información de toda la compañía (nómina, compras, contabilidad, almacén, despachos, mantenimiento, etc.), y tiene alcance para empresas que tienen otras sucursales que pueden ser nacionales o internacionales. Este tipo de CMMS requieren de infraestructura de hardware y software (servidores, redes, PC, licencias, personal de soporte, desarrolladores de aplicaciones, etc.).

Entre algunos ejemplos de CMMS tenemos:

- Fractal: permite la comunicación entre maquinaria para optimizar el uso de activos, gestiona stock, realiza mantenimiento preventivo y administra tareas.
- Infor EAM: ayuda a las empresas a gestionar sus activos de manera proactiva para maximizar la productividad y prolongar su vida útil.
- IBM Máximo: Se enfoca en la gestión óptima del mantenimiento, la planificación de tareas y el aumento de la productividad.
- MP versión 10: se centra en documentar los activos, programar mantenimiento, gestionar tareas y analizar presupuestos.
- eMaint: es una solución basada en la nube que ofrece facilidad de uso, registros de equipos, control de inventario y firma digital.

Capítulo 2

Desarrollo del trabajo

En el presente capítulo se desarrolla el diseño del sistema de mantenimiento basado en los indicadores clave de desempeño (KPI). El capítulo inicia con una descripción de las dificultades operacionales que enfrenta el desarrollo del mantenimiento en la empresa para luego analizar seis aspectos que describen el estado en el que se encuentra el sistema de mantenimiento de la flota de equipos de CHEC. El primer aspecto a evaluar es el estado general de la maquinaria, el segundo es el tipo de mantenimiento que se desarrolla a los equipos, el tercero es la planificación y la programación del mantenimiento, el cuarto aspecto a evaluar es la documentación y registros utilizados, el quinto es la gestión de los repuestos y herramientas y el sexto es el personal técnico de mantenimiento con el que se cuenta.

Posteriormente se empieza a diseñar un sistema de registro de la información de los servicios de mantenimiento realizados, para ello se evaluó el estado inicial del sistema de registro con el fin de reconocer cuales son las limitaciones que presentaba. En base a lo analizado se desarrolla una Orden de Trabajo (OT) digital que agilice el registro de la información y recolecte data que permita calcular indicadores clave de desempeño. Esta herramienta se implementa en un periodo de prueba a un grupo de la flota con el fin analizar y comparar la información brindada con esta nueva metodología. Una vez determinada la operabilidad de la herramienta se prosigue al diseño del plan de mantenimiento en base a indicadores de rendimiento, por lo cual se inicia la selección de los KPI a utilizar basandonos a los problemas detectados en el sistema inicial de mantenimiento aplicado a la empresa. Se procede a calcular los valores de los indicadores seleccionados para finalmente realizar un análisis de los resultados obtenidos.

2.1 Descripción general de la empresa y estado actual del mantenimiento

El proyecto se desarrolla en el interior de la mina Shougang, ubicada aproximadamente a treinta minutos de la ciudad de Marcona. En este contexto, la empresa CHEC, constructora a cargo de las actividades del proyecto y propietaria de la totalidad de la maquinaria empleada en los distintos frentes de trabajo, presenta un esquema de operación y mantenimiento diferenciado según el uso de los equipos. Una parte de la flota es utilizada por la subcontrata Haiyuan Engineering, responsable de las actividades de movimiento de tierras, quien asume contractualmente la ejecución del mantenimiento de los equipos que opera. El resto de los equipos es utilizado directamente por CHEC, cuyos servicios de mantenimiento son ejecutados por la subcontrata China Latinoamérica SAC, limitada a la realización de mantenimientos preventivos y correctivos menores. Las reparaciones de mayor complejidad técnica y los correctivos mayores de estos equipos son asumidos directamente por CHEC. Este esquema, si bien permite reducir la carga operativa directa de la empresa, genera dificultades para el

control de los procedimientos de mantenimiento, la estandarización de criterios técnicos, la trazabilidad de las intervenciones y la disponibilidad de registros técnicos detallados, esta dinámica de trabajo se llevaba realizando desde que la empresa se encontraba en la construcción del Mega Puerto en Chancay.

Figura 9

Mapa que traza la distancia entre el proyecto y la ciudad de Marcona



A lo anterior se suma que la metodología de programación del mantenimiento presenta un desfase aproximado de un mes, debido a que no se cuenta con un programa preventivo que defina las actividades a ejecutar durante el mes en curso, sino únicamente con informes de las intervenciones realizadas por las subcontratas en el mes anterior. Esta situación impide disponer de una proyección adecuada de las actividades de mantenimiento preventivo a lo largo del periodo evaluado, por lo que las intervenciones ejecutadas durante los últimos meses se han realizado, en su mayoría, por estimación, sin un control preciso ni una planificación basada en los requerimientos técnicos derivados de las horas efectivas de operación de los equipos.

En lo referente a la gestión de repuestos, el taller de mecánica cuenta con dos almacenes —uno administrado por la subcontrata Latinoamérica y otro por CHEC— los cuales no disponen de un inventario actualizado ni de un sistema de control de ingreso y salida de materiales, situación que ocasiona compras innecesarias de repuestos ya disponibles y, a su vez, dificultades para ubicar materiales que se presume se encuentran en stock.

Finalmente, ante fallas de mayor complejidad técnica, el área de mantenimiento debe recurrir a servicios externos especializados, los cuales son limitados en la ciudad de Marcona

debido a su condición de ciudad en desarrollo. Esta situación obliga al traslado de equipos o componentes a la ciudad de Nazca para la atención de fallas de complejidad intermedia, o incluso a la ciudad de Lima en casos de mayor complejidad. Adicionalmente, esta limitación geográfica no solo afecta la disponibilidad de servicios especializados, sino también el acceso oportuno a repuestos, los cuales son de difícil obtención tanto en Marcona como en Nazca, debiendo ser solicitados en muchos casos desde la ciudad de Lima. Como consecuencia, las reparaciones de los equipos presentan retrasos significativos, generando paradas operativas que pueden extenderse por varios días o incluso semanas.

Posteriormente se procede a evaluar directamente el proceso de mantenimiento de los equipos, para ello, iniciaremos con contabilizar y describir estos, para posteriormente realizar un análisis de los procedimientos realizados.

En conjunto, las deficiencias identificadas en la planificación, el registro de la información, la gestión de repuestos y la trazabilidad de las intervenciones evidencian la imposibilidad de evaluar objetivamente el desempeño del mantenimiento ejecutado en el proyecto. Esta situación justifica la necesidad de implementar herramientas estructuradas de registro y medición, como las Órdenes de Trabajo estandarizadas y los Indicadores Clave de Desempeño (KPI), que permitan transformar los datos operativos en información confiable para la toma de decisiones.

2.1.1 Estado general de la maquinaria

Se inicia la descripción del estado de los equipos con el conteo total de la maquinaria presente en obra, para lo cual fue necesario realizar un proceso de sinceramiento del número real de equipos en el proyecto. Esta necesidad se origina en que, al inicio de las actividades en la mina Shougang, una parte significativa de los equipos utilizados previamente en la construcción del Mega Puerto de Chancay fue trasladada al proyecto para el inicio de las operaciones. En dicha etapa, el área de equipos contaba únicamente con un ingeniero peruano encargado de la recepción y control de los equipos utilizados directamente por CHEC SAC; sin embargo, aquellos equipos que, siendo propiedad de CHEC SAC, eran operados por la subcontrata Haiyuan Engineering no eran reportados formalmente durante su ingreso a obra, lo que ocasionó la pérdida de registros confiables sobre la flota presente en campo. Esta dinámica de ingreso no controlado de equipos se ha mantenido a lo largo de los aproximadamente dieciocho meses de ejecución del proyecto, razón por la cual el maestro de equipos actual corresponde únicamente a un estimado. En consecuencia, resulta indispensable efectuar un sinceramiento de la cantidad real de equipos presentes en el proyecto, ya que en diversos reportes se ha evidenciado la presencia de maquinaria que se consideraba fuera de obra, así como la ausencia de equipos que se creían aún operativos en campo.

Para ello, se ejecutaron los siguientes pasos con el fin de corroborar y sincerar el número de equipos presentes en obra:

- Levantamiento físico en campo: se elaboró un formato estandarizado de registro para cada equipo, mediante el cual se realizó un recorrido por los distintos frentes de trabajo, contrastando la información previamente disponible y recolectando los datos faltantes. El formato utilizado en esta sección se encuentra en Anexo A.
- Validación con responsables de campo: la información recopilada fue validada con capataces, jefes y supervisores de cada frente de trabajo.
- Contraste con registros de abastecimiento de combustible: se verificó la información de los equipos identificados mediante su comparación con los registros de abastecimiento de combustible.
- Cruce de información de otros registros: se comparó información con los partes diarios de equipos y con los reportes de producción.

Todos los datos obtenidos se recolectaron en el maestro de equipos de la empresa, el cual se encuentra en el *Anexo B*. Con ello se obtuvo un total de 121 equipos, los cuales están organizados por familias en el siguiente cuadro:

Tabla 3

Distribución de equipos por empresa

Familia de Equipo	CHEC	HAIYUAN	Cant
Bomba de hormigón para camión	2	0	2
Bulldozer sobre orugas	1	1	2
Camion Mixer de Concreto	5	0	5
Camión grúa	2	0	2
Camión volquete	0	20	20
Cargadora de ruedas	2	2	4
Cisterna de agua	3	0	3
Cisterna de combustible	0	1	1
Compresor de aire	3	2	5
Excavadora de cadenas	3	6	9
Grupo electrógeno de combustión interna	30	0	30
Grúa montada en camión	2	0	2
Grúa pórtico	3	0	3
Grúa sobre orugas (brazo telescópico)	2	0	2
Grúas sobre orugas	7	0	7
Martillo de impacto hidráulico	4	0	4
Central eléctrica de Martillo hidráulico	2	0	2
Martillo vibratorio eléctrico	1	0	1
Máquina compactadora de orugas	2	0	2
Máquina elevadora	2	2	4
Plataforma camabaja	1	0	1
Plataforma de perforación de circulación inversa con elevación por gas	1	0	1

Plataforma de perforación rotatoria	1	0	1
Rodillo de rueda de acero simple	1	1	2
Retroexcavadora	1	0	1
Tracto Remolque de plataforma	1	0	1
Transportador de vigas de neumáticos	2	0	2
Vehículo de Mantenimiento	1	1	2
Total	85	36	121

En el recuadro anterior se muestra la distribución de los equipos según la empresa responsable de su operación y mantenimiento, determinándose que Haiyuan Engineering tiene a su cargo el mantenimiento de 36 equipos (aproximadamente el 30%), mientras que CHEC es responsable del mantenimiento de 85 equipos (el 70%). Cabe precisar que en esta relación no se incluyen los vehículos livianos ni las unidades destinadas al transporte de personal, debido a que el mantenimiento de dichos equipos es gestionado directamente por el área administrativa a través de una empresa externa.

Ahora evaluaremos la antigüedad de los equipos, para ello recopilamos la información obtenida del maestro de equipos y se realizó el siguiente cuadro en que se distribuye la cantidad de los equipos según su año de fabricación.

Tabla 4

Distribución de cantidad de equipo por año de fabricación

Año	Total de Equipos	%	Σ
2013	3	2%	12%
2017	2	2%	
2018	1	1%	
2019	8	7%	
2020	13	11%	
2021	73	60%	88%
2022	15	12%	
2023	3	2%	
2024	3	2%	
2025	3	2%	

Nota. 12% de los equipos se encuentran entre los años 2013-2019 y el 88% restante entre el 2020-2025.

Figura 10

Diagrama de cantidad de equipos por año de fabricación



De los resultados obtenidos se observa una alta concentración de equipos correspondientes al año de fabricación 2021, los cuales representan aproximadamente el 60 % del total de la flota, este dato expresa la adquisición masiva de equipos que la empresa realizó en el año 2021 para el inicio de actividades de construcción del Mega Puerto de Chancay, este dato de tener un grupo grande de equipos de una antigüedad similar puede representar picos de mantenimiento en los mismos periodos futuros. Asimismo, se evidencia que la flota es relativamente moderna, dado que el 88 % de los equipos corresponde a los años de fabricación comprendidos entre 2020 y 2025, lo que podría reflejarse en una menor probabilidad de fallas estructurales y una mayor dependencia de mantenimiento preventivo que correctivo. Por otro lado, los equipos de mayor antigüedad (2013–2019) representan un porcentaje reducido, equivalente al 12 % de la flota. En términos generales, la flota no presenta un envejecimiento generalizado, sino una estructura bimodal, compuesta por un grupo reducido de equipos antiguos y un grupo mayoritario de equipos relativamente nuevos.

No obstante, se recomienda mantener un registro detallado de los equipos de mayor antigüedad, dado que estos requieren una estrategia de mantenimiento diferenciada. Para dichos equipos, se propone la realización de inspecciones más frecuentes y el control sistemático del estado de los componentes críticos, tales como el motor, la transmisión y el sistema hidráulico. De igual manera, se sugiere asegurar un stock mínimo de repuestos críticos, considerando que estos equipos suelen presentar mayores niveles de desgaste y, en algunos casos, riesgos asociados a la discontinuación de determinados componentes.

A continuación, analizaremos la distribución de la antigüedad de los equipos en base a la empresa encargada del mantenimiento, que como ya se ha explicado anteriormente un

grupo de equipos está a cargo por CHECSAC mediante los trabajos realizados por la subcontrata Latinoamérica y el grupo de equipos restante está a cargo directamente por la empresa Haiyuan Engineering. La distribución de los equipos es la siguiente:

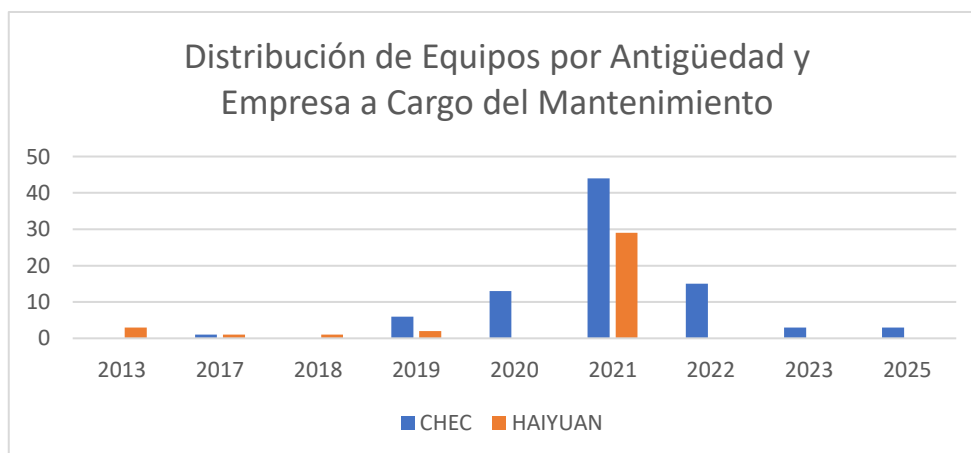
Tabla 5

Distribución de equipos por empresa por año de fabricación

Año	CHEC	HAIYUAN	Total de Equipos
2013	0	3	3
2017	1	1	2
2018	0	1	1
2019	6	2	8
2020	13	0	13
2021	44	29	73
2022	15	0	15
2023	3	0	3
2025	3	0	3

Figura 11

Diagrama de distribución de equipos por antigüedad y por empresa



De lo obtenido a partir del análisis de las gráficas, se observa que la empresa CHEC presenta equipos fabricados entre los años 2017 y 2025, concentrando aproximadamente 72 equipos fabricados entre los años 2020 y 2022, lo que representa cerca del 85% de su flota total. Esto permite determinar que la mayoría de los equipos bajo su responsabilidad corresponden a una flota relativamente nueva.

Por otro lado, la empresa Haiyuan Engineering presenta dentro de su flota los equipos de mayor antigüedad, los cuales, si bien representan aproximadamente el 20% de su flota total, evidencian la necesidad de un enfoque de mantenimiento diferenciado. En este sentido, se propone que la gestión de mantenimiento de CHEC se oriente principalmente a un enfoque preventivo, mientras que para Haiyuan Engineering se considere un enfoque correctivo, complementado con una estrategia de control de obsolescencia.

Ahora evaluaremos la criticidad de los equipos, para ello evaluaremos el impacto que estos tienen en el proyecto, observando los siguientes criterios:

- Si la inoperatividad del equipo detiene el frente de obra.
- Si la inoperatividad del equipo genera retrasos significativos.
- Si la inoperatividad del equipo incrementa costos de manera relevante
- Si el equipo afecta la seguridad.
- Si el equipo no tiene reemplazo inmediato.

Es vital tener en cuenta que la criticidad de los equipos se define en función de su impacto directo sobre las actividades principales del proyecto, especialmente aquellas que condicionan el avance del cronograma y la seguridad de las operaciones.

El proyecto de construcción comprende la ejecución del Nuevo Muelle de San Nicolás, ubicado dentro de la mina de Shougang, el cual incluye tanto la construcción de la estructura del muelle como la instalación de los cimientos correspondientes a una faja transportadora destinada al traslado del mineral de hierro desde las instalaciones de la mina hasta el punto de vertido en las embarcaciones encargadas de su transporte. Asimismo, el proyecto contempla la construcción de una edificación auxiliar, la cual funcionará como base de control de las actividades operativas del muelle.

En el desarrollo de las actividades mencionadas, se identifican como principales procesos constructivos los siguientes:

1. Hincado de pilotes en el mar, los cuales constituyen los elementos de cimentación profunda del muelle.

2. Vaciado de concreto tanto en el interior de los pilotes hincados como en las estructuras de cimentación de las demás edificaciones del proyecto.
3. Elaboración y montaje de armaduras de acero para pilotes y demás elementos de cimentación en los distintos frentes de trabajo.
4. Izaje de materiales y componentes estructurales, tanto para labores de acopio como para la construcción y montaje de los diferentes elementos del muelle y estructuras asociadas.
5. Condicionamiento de los frentes de trabajo mediante actividades de movimiento de tierras, necesarias para la ejecución de las obras civiles.
6. Transporte interno de materiales de construcción, desde los puntos de fabricación, acopio o descarga hasta los frentes de construcción correspondientes.
7. Abastecimiento de combustible de los equipos en obra.

Teniendo en cuenta las principales actividades de la construcción, y teniendo en cuenta los criterios mencionados anteriormente se determinó la existencia de 14 equipos críticos en la obra, los cuales se presentan en el siguiente recuadro:

Tabla 6

Distribución de equipos críticos por familia por empresa

Familia de Equipo	CHEC	HAIYUAN	Cant
Bomba de hormigón para camión	2	0	2
Cisterna de combustible	0	1	1
Martillo de impacto hidráulico	4	0	4
Central eléctrica de Martillo hidráulico	2	0	2
Martillo vibratorio eléctrico	1	0	1
Plataforma camabaja	1	0	1
Plataforma de perforación de circulación	1	0	1
Retroexcavadora	1	0	1
Tracto Remolque de plataforma	1	0	1
TOTAL	13	1	14

Los equipos críticos identificados corresponden tanto a equipos productivos directos, cuya indisponibilidad genera la paralización inmediata de frentes clave, como a equipos logísticos de soporte, cuya falla ocasiona interrupciones indirectas pero significativas en la continuidad operativa de la obra. Dentro de los primeros se incluyen los martillos hidráulicos y vibratorios utilizados en el hincado de pilotes, las bombas de hormigón para los vaciados de concreto y la plataforma de perforación de circulación inversa, todos ellos directamente vinculados a actividades ubicadas en la ruta crítica del proyecto.

Asimismo, se consideran como equipos críticos aquellos de carácter logístico, tales como la cisterna de combustible, las plataformas camabaja y los tracto remolques de

plataforma, dado que su inoperatividad condiciona la disponibilidad y el traslado oportuno de equipos y materiales esenciales para la ejecución de los trabajos.

En cuanto a la distribución por empresa responsable del mantenimiento, se observa que trece de los equipos críticos se encuentran bajo la gestión de CHEC, mientras que un equipo crítico corresponde a Haiyuan Engineering, lo cual refleja una mayor concentración de responsabilidad operativa y de mantenimiento crítico en la flota administrada por CHEC.

La identificación de estos equipos permite establecer prioridades claras en la planificación del mantenimiento, orientando los recursos disponibles hacia aquellos activos cuya confiabilidad resulta determinante para el cumplimiento del cronograma, el control de costos y la seguridad del proyecto.

El siguiente aspecto a evaluar corresponde a la disponibilidad operativa de los equipos. Para ello, se definieron diferentes estatus operativos, los cuales permiten clasificar la condición funcional de cada equipo durante el periodo de evaluación, considerando tanto aspectos técnicos como operativos y de gestión. Esta clasificación permite identificar no solo problemáticas asociadas al mantenimiento, sino también ineficiencias relacionadas con la planificación, la logística y la gestión de los recursos del proyecto.

Los estatus utilizados para la clasificación de la disponibilidad operativa inicial de los equipos fueron los siguientes:

1. Operativo: Equipo que se encuentra en condiciones técnicas adecuadas y ejecutando las actividades para las cuales fue asignado, sin restricciones que afecten su desempeño normal.
2. Disponible (en espera): Equipo que se encuentra en buen estado técnico y apto para operar, pero que no está siendo utilizado temporalmente.
3. Inoperativo por mantenimiento: Equipo que se encuentra fuera de operación, de manera planificada o no planificada, debido a la ejecución de actividades de mantenimiento preventivo, correctivo o mayor, necesarias para restablecer o asegurar su correcto funcionamiento.
4. Inoperativo por falla: Equipo que se encuentra detenido de forma no programada como consecuencia de una falla mecánica, eléctrica, hidráulica o estructural, que impide su operación segura y eficiente.
5. Fuera de servicio: Equipo que ha sido retirado temporal o definitivamente de la operación, ya sea por obsolescencia, daño mayor, decisión administrativa o evaluación económica, y que no se encuentra disponible para actividades del proyecto.

Bajo los criterios establecidos se procedió a determinar los estatus de cada uno de los equipos de obra, con lo cual se logró elaborar el siguiente cuadro:

Tabla 7

Distribución del estatus de los equipos críticos y no críticos de CHEC y Haiyuan

Estatus	CHEC		HAIYUAN		TOTAL
	Crítico	No crítico	Crítico	No crítico	
Operativo	10	46	1	20	77
Disponible	3	19	0	12	34
Inoperativo por mantenimiento	0	0	0	2	2
Inoperativo por falla	0	7	0	1	8
Fuera de servicio	0	0	0	0	0
TOTAL	13	72	1	35	121

Del análisis de la tabla se observa una alta disponibilidad global de la flota, la cual cuenta con un total de 111 equipos en condición operativa o disponible (77 operativos y 34 disponibles), lo que representa aproximadamente el 92% del total de la flota. Este resultado evidencia una buena condición operativa general de los equipos durante el periodo evaluado.

Asimismo, se identifica que la totalidad de los equipos críticos, conformados por los trece equipos críticos bajo la gestión de CHEC y el único equipo crítico correspondiente a Haiyuan Engineering, se encuentran en estatus operativo o disponible, lo cual demuestra una clara priorización en la gestión y mantenimiento de los equipos clave, reduciendo el riesgo de paralizaciones en los frentes críticos del proyecto.

En relación con los equipos que presentan un estatus inoperativo por falla, se registran un total de ocho equipos, de los cuales siete corresponden a equipos no críticos de CHEC y uno a un equipo no crítico de Haiyuan Engineering. Dado que estos equipos no forman parte de la ruta crítica y cuentan con alternativas de reemplazo o cumplen funciones de apoyo, su indisponibilidad no genera un impacto significativo en el desarrollo del proyecto.

Por otro lado, se identifican dos equipos en condición inoperativa por mantenimiento, ambos pertenecientes al grupo de equipos no críticos de Haiyuan Engineering. Esta situación podría estar asociada, por una parte, a la antigüedad relativa de la flota y, por otra, a una limitada ejecución de actividades de mantenimiento preventivo durante el periodo de evaluación.

Adicionalmente, se observa que aproximadamente el 28% de la flota se encuentra en estatus disponible, es decir, en condición funcional, pero sin generar producción en el periodo analizado. Este comportamiento podría evidenciar un sobredimensionamiento de la flota o una deficiente secuenciación de los frentes de trabajo. No obstante, cabe señalar que una ventaja operativa de la empresa CHEC es que la totalidad de su flota corresponde a equipos

de propiedad directa, por lo que la permanencia de equipos en condición de espera no genera costos directos por concepto de alquiler.

Finalmente, es importante precisar que los datos analizados corresponden a una fotografía del estado operativo de los equipos en un momento específico del tiempo, particularmente durante la última semana del mes de noviembre. En consecuencia, esta información no representa la disponibilidad real de los equipos a lo largo de un periodo continuo de operación, la cual puede ser evaluada de manera más precisa mediante la aplicación de indicadores de desempeño, como el KPI de Disponibilidad Operativa.

2.1.2 Tipo de mantenimiento que se aplica

A continuación, se realizará un análisis de los mantenimientos realizados a los equipos en un rango de tiempo de cuatro meses, específicamente entre los meses de agosto y noviembre del año 2025.

Para esta sección se enfoca en los equipos cuyos servicios de mantenimiento están directamente a cargo de CHEC. Los motivos por los que se determinó esto son los siguientes:

- Representatividad y criticidad: CHEC concentra la mayor cantidad de la flota, en lo que se incluyen 13 de los 14 equipos críticos en el proyecto. Además, los equipos presentes en su flota ejecutan las actividades principales de los procesos constructivos expresados anteriormente. Por lo que analizar los equipos de CHEC equivale a analizar el núcleo operativo del proyecto.
- Impacto directo en la continuidad del proyecto: Las fallas o indisponibilidades en equipos CHEC afectan directamente los frentes principales, generan mayor riesgo de retrasos y tienen mayor impacto económico en el proyecto. Por otro lado, los equipos de Haiyuan no concentran equipos críticos, ya que presentan una flota grande que les permite tener rotación de los equipos, asimismo tienen menor impacto sistémico en el cronograma general.
- Homogeneidad del sistema de mantenimiento: registros más completos y trazables.

El enfoque exclusivo en CHEC permite un análisis más profundo, consistente y representativo del estado real del mantenimiento en la obra.

Con todo lo expresado anteriormente, se realizó la recopilación de los datos de los servicios realizados a los equipos de CHEC en el rango de tiempo de agosto a noviembre de 2025.

Tabla 8

Distribución de los mantenimientos realizados entre los meses de agosto y noviembre

Familia de Equipos	Agosto		Setiembre		Octubre		Noviembre		Totales	
	Correctivo	Preventivo	Correctivo	Preventivo	Correctivo	Preventivo	Correctivo	Preventivo	Correctivo	Preventivo
Cargadores frontales	2	0	0	1	1	2	1	2	4	5
Grúas	5	4	1	1	6	6	4	7	16	18
Bombas de concreto	1	0	0	0	0	1	1	0	2	1
Camas bajas	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Perforadoras	1	2	1	0	3	3	0	1	5	6
Plantas de concreto	0	1	0	2	0	3	0	2	0	8
Generadores	4	5	2	9	0	14	1	14	7	42
Cisternas de agua	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2
Excavadoras	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Montacargas	0	2	0	0	0	1	0	1	0	4
Compresoras	0	1	0	0	0	0	1	1	1	2
Mixers	0	0	0	0	1	3	0	0	1	3
TOTALES	14	15	4	13	11	36	8	28	37	92
%	48%	52%	24%	76%	23%	77%	22%	78%	29%	71%

Nota. Se muestra un incremento gradual de la aplicación de mantenimientos preventivos.

Del cuadro anterior se puede apreciar que, dentro del periodo de evaluación establecido, los servicios de mantenimiento realizados a los equipos de la empresa CHEC corresponden en su mayoría a mantenimiento de tipo preventivo, representando el 71% del total de intervenciones ejecutadas. Este comportamiento evidencia la existencia de una planificación del mantenimiento, así como la aplicación de una estrategia preventiva activa, lo que indica que la gestión del mantenimiento no se limita únicamente a acciones reactivas ante fallas.

Asimismo, se observa una tendencia clara de mejora mensual en la proporción de mantenimientos preventivos realizados. En el mes de agosto, el mantenimiento preventivo representó el 52% del total de servicios; sin embargo, este valor se incrementó progresivamente en los meses siguientes, alcanzando un 78% en el mes de noviembre. Esta evolución refleja una mayor madurez en la gestión del mantenimiento, con un enfoque cada vez más orientado a la prevención de fallas y a la confiabilidad operativa de los equipos.

En cuanto a la distribución de las intervenciones por familia de equipos, se identifica que los generadores eléctricos presentan el mayor número de servicios realizados, con un total de 49 intervenciones (7 correctivas y 42 preventivas) durante el periodo analizado. Cabe destacar que estos equipos operan de manera casi continua, debido a que las actividades del proyecto se desarrollan tanto en turnos diurnos como nocturnos, lo que justifica la alta frecuencia de mantenimiento preventivo aplicada a esta familia de equipos.

Por otro lado, las grúas constituyen la segunda familia con mayor número de intervenciones, registrando un total de 34 servicios (16 correctivos y 18 preventivos). Esta distribución relativamente equilibrada entre ambos tipos de mantenimiento evidencia la alta exigencia operativa y el rol crítico de estos equipos, los cuales requieren un control permanente debido a su impacto directo en la seguridad y en la continuidad de las operaciones del proyecto.

Respecto a las bombas de concreto, las cuales forman parte del grupo de equipos críticos de CHEC, se observa una baja incidencia de mantenimiento correctivo, con solo dos intervenciones correctivas durante el periodo evaluado. No obstante, también se registra únicamente una intervención preventiva, lo que sugiere la necesidad de fortalecer el control y la programación del mantenimiento preventivo en esta familia de equipos, considerando su importancia para el avance de las obras estructurales.

Finalmente, el 29% de servicios correctivos registrados durante el periodo analizado representa un valor realista y esperado en un entorno de obra, caracterizado por condiciones exigentes de operación. Uno de los objetivos del presente trabajo de investigación es analizar el estado actual de la gestión del mantenimiento, con el propósito de optimizarla progresivamente y evidenciar dicha mejora mediante la aplicación de indicadores clave de desempeño.

En conclusión, el análisis del tipo de mantenimiento aplicado a los equipos de CHEC evidencia una estrategia de mantenimiento predominantemente preventiva, con una tendencia sostenida de mejora a lo largo del tiempo, lo cual contribuye de manera directa a la alta disponibilidad operativa observada en la flota, especialmente en los equipos críticos del proyecto.

2.1.3 Planificación y programación del mantenimiento

A lo largo de los primeros meses del periodo evaluado, la programación del mantenimiento de los equipos presentó un alto grado de improvisación, principalmente debido a la carencia de información estructurada y confiable. La ausencia de registros sistemáticos de los servicios realizados, así como la falta de ordenamiento y trazabilidad de la información histórica de mantenimiento, dificultó durante varios meses la elaboración de un plan de mantenimiento anticipado y estructurado para la flota de equipos.

Adicionalmente, hasta fechas recientes no se contaba con un maestro de equipos actualizado, que reflejara de manera real la cantidad, tipología y estado de los equipos presentes en el proyecto. Esta situación representó una limitación importante para el área de mantenimiento, ya que sin una base de datos confiable resulta inviable establecer frecuencias, priorizar activos críticos o programar mantenimientos preventivos de manera adecuada. En este contexto, el mantenimiento ejecutado durante dicho periodo se desarrolló

mayoritariamente de forma reactiva, respondiendo a fallas o necesidades inmediatas de operación.

No obstante, en los meses más recientes se han iniciado acciones orientadas al sinceramiento y consolidación de la información técnica de los equipos, tales como la actualización del inventario de la flota y la recopilación de datos de horas de operación a partir del análisis de los registros de abastecimiento de combustible. Estas acciones han permitido contar progresivamente con información más representativa del estado real de los equipos en obra.

El impacto de este proceso se refleja en el análisis de los servicios de mantenimiento realizados a los equipos de CHEC entre los meses de agosto y noviembre, donde se observa que, con el transcurso del tiempo, el enfoque del mantenimiento ejecutado pasó a ser predominantemente preventivo, evidenciando una transición hacia una gestión más ordenada del mantenimiento.

Sin embargo, a pesar de esta mejora, aún resulta complejo trazar un plan anticipado de mantenimiento preventivo a mediano y largo plazo, debido a la falta de un sistema que permita registrar, centralizar y analizar de manera inmediata la información de las intervenciones realizadas. Por ello, el presente trabajo de investigación propone la implementación de órdenes de trabajo digitales, como una herramienta que permita:

- Registrar en tiempo real los servicios ejecutados por el personal técnico.
- Generar una base de datos histórica confiable.
- Facilitar la programación futura del mantenimiento.
- Evaluar el desempeño del sistema de mantenimiento mediante indicadores clave de rendimiento.

La implementación de esta herramienta contribuirá a reducir la improvisación, consolidar una programación de mantenimiento ordenada y proactiva, y fortalecer la toma de decisiones basada en datos reales.

2.1.4 Documentación y registro

En relación con la documentación y los registros de los servicios de mantenimiento realizados a los equipos del proyecto, se identifica que no existe un historial de mantenimiento individual por maquinaria, debido principalmente a la ausencia de un estándar formal de reporte de las actividades de mantenimiento ejecutadas.

Tal como se ha mencionado anteriormente, el servicio de mantenimiento de los equipos utilizados por la empresa CHEC se encuentra subcontratado a la empresa China

Latinoamérica. No obstante, dicha empresa no aplica un formato estandarizado para el registro de las reparaciones ni de los mantenimientos preventivos realizados. Actualmente, la metodología empleada para reportar los servicios consiste en el uso de una aplicación de mensajería instantánea, mediante la cual el capataz del área mecánica envía, con una periodicidad semanal, registros fotográficos de los trabajos efectuados, acompañados de una breve descripción.

La información reportada se limita, en la mayoría de los casos, al código interno de identificación del equipo y una descripción general del problema atendido, sin incluir datos técnicos relevantes tales como el tipo de falla, las causas del problema, los repuestos utilizados, el tiempo de intervención, las horas de parada del equipo o el personal involucrado. Esta situación impide la trazabilidad de los servicios realizados y limita la posibilidad de realizar análisis históricos, evaluaciones de desempeño o una planificación adecuada del mantenimiento. La empresa no cuenta con una CMMS ni con una documentación formal para el registro de las actividades realizadas o a realizar. Lo que se implementó recientemente es un registro digital mediante la herramienta Excel que permite recolectar la información recibida mediante la aplicación de mensajería instantánea.

En ese contexto, el presente estudio propone la implementación de un formato electrónico de Orden de Trabajo, en el cual el técnico mecánico responsable de la intervención registre de manera estructurada un conjunto mínimo de datos del servicio ejecutado. Esta información permitirá construir una base de datos confiable, a partir de la cual se puedan aplicar métricas y desarrollar indicadores clave de desempeño (KPI), orientados a mejorar la gestión del mantenimiento de los equipos del proyecto.

La falta de registros técnicos detallados también representa un riesgo desde el punto de vista de la seguridad y el control de costos, ya que no se cuenta con evidencia documentada que permita verificar la correcta ejecución de las intervenciones realizadas.

Esta deficiencia en la documentación constituye uno de los principales puntos de mejora abordados en la propuesta desarrollada en los capítulos posteriores.

En consecuencia, la ausencia de un sistema estandarizado de registro no solo limita el control técnico del mantenimiento, sino que impide la construcción de indicadores de desempeño confiables. Esta debilidad estructural constituye uno de los principales puntos de partida del presente trabajo, ya que sin información ordenada y verificable no es posible medir, controlar, ni mejorar el sistema de mantenimiento de manera sistemática.

2.1.5 Gestión de repuestos y herramientas

Como se ha mencionado anteriormente, el área de mecánica cuenta con dos almacenes de repuestos y herramientas en obra: uno gestionado directamente por la empresa China Latinoamérica y otro administrado por la empresa CHEC. Una de las principales problemáticas identificadas en ambos almacenes es la ausencia de un registro confiable y actualizado del inventario disponible, situación originada por la falta de un control sistemático del ingreso y salida de materiales y repuestos.

La inexistencia de un sistema de registro adecuado ha ocasionado, de manera recurrente, la compra innecesaria de materiales y repuestos que ya se encontraban disponibles en almacén, así como la dificultad para localizar repuestos que se asumían aún en stock, generando retrasos en las intervenciones de mantenimiento y un incremento innecesario de los costos operativos.

Esta deficiencia en la gestión de repuestos impacta directamente en la eficiencia del mantenimiento, ya que limita la capacidad de respuesta ante fallas, prolonga los tiempos de inoperatividad de los equipos y dificulta la planificación de los mantenimientos preventivos.

Con el objetivo de mejorar el control del uso de materiales y repuestos empleados en las reparaciones de los equipos, la Orden de Trabajo digital propuesta incluirá una sección específica destinada al registro detallado de los repuestos, materiales y herramientas utilizados en cada intervención. Este registro permitirá mejorar la trazabilidad del consumo, fortalecer el control de inventarios y servir como base para la toma de decisiones relacionadas con la reposición y planificación de repuestos críticos.

Como se ha mencionado anteriormente, la ubicación geográfica del proyecto representa una dificultad significativa para la obtención oportuna de repuestos y materiales de mayor complejidad. Las ciudades más cercanas al proyecto son Marcona, ubicada a aproximadamente 30 minutos, la cual cuenta con una oferta limitada de tiendas de repuestos y materiales, y Nasca, situada a alrededor de una hora y media, que dispone de una mayor variedad de proveedores; no obstante, continúa siendo una ciudad de tamaño reducido, por lo que no siempre es posible encontrar la totalidad de los repuestos y materiales requeridos por los equipos del proyecto.

En consecuencia, para la adquisición de repuestos y materiales más especializados o de baja rotación, es necesario realizar solicitudes a proveedores ubicados en la ciudad de Lima. El tiempo de traslado de dichos materiales puede variar entre uno y dos días; sin embargo, en determinados casos, cuando el repuesto requiere ser identificado mediante una muestra física o una validación técnica adicional, el tiempo de abastecimiento puede extenderse aún más, incrementando los periodos de inoperatividad de los equipos.

2.1.6 Personal de mantenimiento

Con respecto al personal de mantenimiento asignado al proyecto, este se encuentra segmentado de acuerdo con la distribución de responsabilidades entre la empresa CHEC y la subcontrata China Latinoamérica, encargada de la ejecución directa de gran parte de los servicios de mantenimiento de los equipos.

La empresa subcontratada China Latinoamérica cuenta con un equipo conformado por cinco mecánicos peruanos, un técnico mecánico de nacionalidad china, un técnico electricista de nacionalidad china y un capataz de mecánica también de nacionalidad china, quien cumple funciones de coordinación, supervisión y reporte de las actividades realizadas. Este equipo es responsable principalmente de la ejecución del mantenimiento preventivo de la maquinaria, así como de la atención de reparaciones mecánicas correctivas de nivel básico e intermedio.

Por su parte, la empresa CHEC no dispone de personal técnico mecánico propio en obra; sin embargo, cuenta con cinco técnicos electricistas, dos técnicos en soldadura y un técnico en tornería, quienes brindan soporte a las actividades de mantenimiento desde sus respectivas especialidades. Esta estructura responde a la estrategia adoptada por la empresa, en la cual el mantenimiento mecánico de los equipos ha sido externalizado a la subcontrata, mientras que ciertas labores eléctricas y de fabricación o reparación de componentes se gestionan internamente.

Para intervenciones de mayor complejidad técnica, tales como reparaciones mayores de componentes críticos o trabajos especializados que superan las capacidades del personal en obra, se recurren a talleres externos, lo que puede generar tiempos adicionales de espera y dependencia de proveedores externos para la restitución operativa de los equipos.

Esta estructura de personal influye directamente en el tipo de mantenimiento que se ejecuta en obra, priorizándose las intervenciones preventivas y correctivas básicas, mientras que las reparaciones mayores requieren una planificación adicional y coordinación con proveedores externos.

La ausencia de personal mecánico propio por parte de CHEC limita la capacidad de programación autónoma del mantenimiento, reforzando la necesidad de contar con herramientas de planificación y control que permitan coordinar eficazmente las actividades con la empresa subcontratada.

Dada la diversidad del personal involucrado, se vuelve fundamental contar con un sistema estandarizado de registro de las intervenciones realizadas, que permita asegurar la trazabilidad de las actividades independientemente del técnico o empresa que ejecute el servicio.

2.2 Sistema de registro de la información

2.2.1 Estado actual del sistema de registro de mantenimiento

Como se ha señalado anteriormente, uno de los principales problemas identificados en el control del mantenimiento de los equipos del proyecto es la carencia de un estándar formal para el registro de la información asociada a las actividades de mantenimiento realizadas sobre la maquinaria en operación.

El sistema de registro actualmente utilizado es completamente digital, sin el uso de documentación física, lo cual presenta ciertas ventajas, tales como la rápida transmisión de la información, la facilidad para compartir evidencias fotográficas y la posibilidad de conservar los registros en el tiempo. No obstante, debido a la ausencia de un formato estandarizado, la información recolectada resulta limitada y poco estructurada, lo que reduce significativamente su utilidad para fines de análisis y gestión del mantenimiento.

El método actual de registro se basa en el uso de la aplicación de mensajería instantánea WeChat, a través de la cual se reportan fotografías y datos básicos de los servicios realizados, así como del equipo intervenido. La información que normalmente se recibe incluye el código interno de identificación del equipo, el tipo de servicio realizado y, en algunos casos, el valor del horómetro. Sin embargo, este mecanismo omite información técnica relevante, necesaria para la aplicación de métricas e indicadores de desempeño, tales como la descripción detallada de la falla, los repuestos utilizados, los tiempos de intervención y las horas de indisponibilidad del equipo.

En cuanto a la periodicidad del reporte, este se realiza generalmente una vez por semana, mediante el envío al grupo de mensajería de un conjunto de fotografías acompañadas de una breve descripción del servicio ejecutado. El responsable de realizar dicho reporte es el capataz chino a cargo de la subcontrata China Latinoamérica, quien centraliza la información proveniente de las intervenciones realizadas en obra.

Este mecanismo de registro presenta las siguientes limitaciones principales:

- Falta de trazabilidad de las intervenciones realizadas.
- Ausencia de un historial de mantenimiento individual por equipo.
- Imposibilidad de generar indicadores de desempeño del mantenimiento.

2.2.2 Orden de Trabajo como herramienta de control

En este apartado se desarrollará el diseño de un documento estándar para el registro de los servicios de mantenimiento brindados a los equipos del proyecto. Dicho documento estará orientado a la recopilación de datos que permitan la implementación de indicadores clave de desempeño (KPI), con el fin de analizar el estado del mantenimiento ejecutado y, a partir de ello, facilitar la toma de decisiones para su mejora continua.

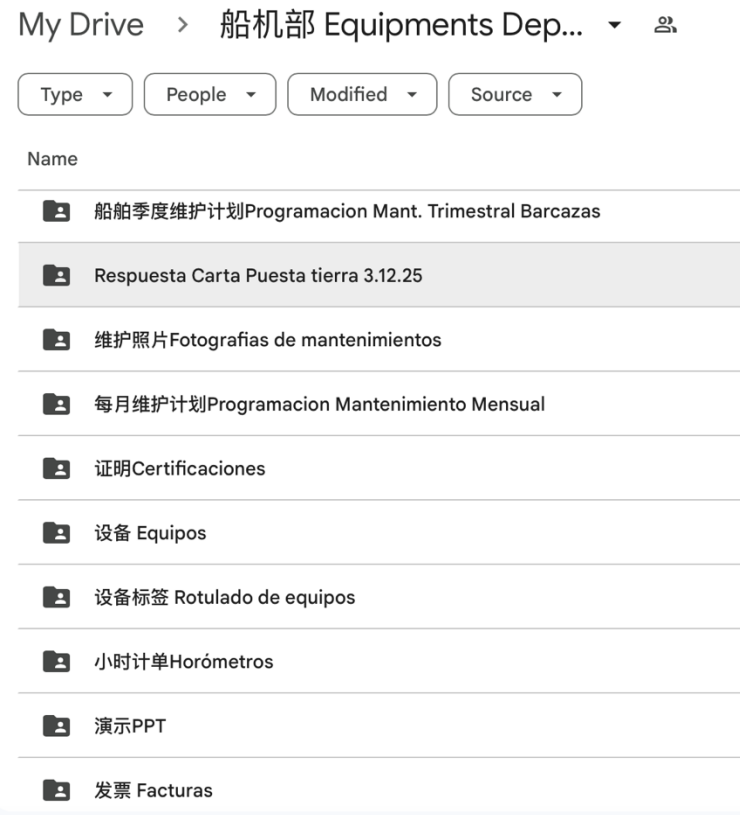
En el Capítulo 1 se mencionaron dos sistemas de gestión del mantenimiento. El primero corresponde al formato de Orden de Trabajo, el cual constituye el soporte básico mediante el cual se autoriza, documenta y ejecuta una intervención sobre un equipo. Existen diversos diseños de Órdenes de Trabajo; sin embargo, como mínimo, estas deben considerar los siguientes apartados:

- Fecha de elaboración.
- Fecha programada de ejecución de la tarea.
- Hora de ejecución (si corresponde).
- Nombre del ejecutante.
- Instructivo asociado (genérico o específico).
- Máquina o equipo a intervenir.
- Nombre y cargo de quien programa la orden.
- Espacio para observaciones.
- Espacio para la firma del ejecutante.

La segunda herramienta de gestión mencionada en el Capítulo 2 corresponde a los CMMS (siglas en inglés de *Computerized Maintenance Management System*, traducido al español como Sistema Computarizado de Gestión del Mantenimiento). Al igual que las Órdenes de Trabajo, los CMMS presentan una amplia variedad de niveles de complejidad, que van desde soluciones simples, como hojas de cálculo en Excel para el registro de datos de mantenimiento, hasta sistemas avanzados que requieren infraestructura de software y hardware, capaces de recolectar y analizar información proveniente de distintas áreas de la empresa.

En el presente trabajo se propone estandarizar el método de recolección de datos mediante la implementación de un documento digital que permita al técnico encargado del servicio de mantenimiento registrar, de forma sencilla, información relevante y vital para la gestión del mantenimiento.

Como modelo de referencia, se seguirán las directrices propuestas por el Ing. Eliut López, de la Universidad Tecnológica General Mariano Escobedo, quien en su artículo *Gestión de Mantenimientos en la nube mediante Google* describe el desarrollo de un sistema de gestión del mantenimiento en la nube. Esta propuesta permite solucionar una problemática recurrente en la gestión de activos, como es la falta de seguimiento oportuno de los equipos y el desconocimiento de su disponibilidad en tiempo real (López, 2017).

Figura 12*Gestión de los documentos en Google Drive*

Esta metodología resulta especialmente adecuada para empresas que no cuentan con un sistema formal de gestión del mantenimiento, ya sea por la ausencia de un servidor de servicios, la falta de software especializado para la gestión de procesos o la carencia de equipos informáticos destinados a dicha administración. Para su implementación, únicamente se requiere acceso a internet y un dispositivo móvil o equipo de cómputo que permita ejecutar los procedimientos, gestionar la información y apoyar la toma de decisiones.

Una consideración adicional en la estandarización del registro de los servicios de mantenimiento es la definición de la información necesaria para la aplicación de las ecuaciones que permiten obtener los indicadores clave de desempeño de la gestión del mantenimiento.

En función de lo expuesto anteriormente, en este apartado se plantea la elaboración de una Orden de Trabajo digital, la cual será registrada mediante un formulario desarrollado en la plataforma Google Forms. Dicho formulario solicita al técnico encargado del mantenimiento el ingreso de información esencial para una adecuada gestión del mantenimiento de los equipos.

A continuación, se describen cada uno de los campos que conforman el cuestionario de Google Forms, así como el impacto que estos tienen dentro de la gestión del mantenimiento. Esta información se presenta en el siguiente recuadro.

Tabla 9

Evaluación de los campos de pregunta del cuestionario para la OT digital

Campo	Carácter	Comentario técnico
Codificación del equipo	Crítico	Base para trazabilidad y análisis por equipo
Empresa a cargo del equipo	Útil	Segmentación de análisis por responsable
Lectura actual del horómetro	Crítico	Esencial para MTBF, planificación preventiva y control de desgaste
Frente de trabajo del equipo	Útil	Permite tener un rastro de la ubicación del equipo así como permitiría comparar las fallas presentes en cada frente
Estatus del equipo antes del servicio	Crítico	Necesario para medir disponibilidad
Motivo de la intervención	Crítico	Permite evaluar si era un servicio programado o no programado.
Tipo de servicio realizado	Crítico	clasificación base de los servicios realizados
Tipo de falla	Crítico	Permite análisis de modos de falla y priorización de acciones correctivas
Descripción de la falla	Crítico	Insumo principal para análisis causa-raíz
Fecha de inicio de servicio	Crítico	Necesario para MTTR y Disponibilidad operativa
Hora de inicio de servicio	Crítico	Necesario para MTTR y Disponibilidad operativa
Fecha de fin de servicio	Crítico	Necesario para MTTR y Disponibilidad operativa
Hora de fin de servicio	Crítico	Necesario para MTTR y Disponibilidad operativa
Personal involucrado	Crítico	Análisis de recursos y trazabilidad
Repuestos y materiales utilizados	Crítico	Impacta costos, control de inventarios y análisis de recurrencia de fallas
¿Los repuestos y materiales necesarios estaban disponibles en almacén?	Crítico	Permite identificar demoras por logística y su impacto en disponibilidad
Descripción del trabajo realizado	Crítico	Análisis de fallas
Observaciones técnicas	Útil	Complemento técnico
Estado del equipo al finalizar	Crítico	Determina la condición final del equipo
¿El equipo queda operativo?	Crítico	Variable directa para cálculo de disponibilidad post- intervención
Aprobado por	Útil	Control y validación

Teniendo esta estructura el formulario ya permite calcular:

- Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF).
- Tiempo Medio de Reparación (MTTR).
- Disponibilidad operativa.
- Análisis de fallas recurrentes.
- Impacto de logística de repuestos.
- Productividad del personal técnico.

Se procedió a la elaboración digital del cuestionario de Google Forms, el cual se encuentra en el siguiente link:

<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSe-rZQuHgdlHozhPF1Lhf4JVct6TeVlHoeOw3CZxFRqQRDQBO/viewform?usp=header>

El cuestionario se encuentra dividido en 5 secciones:

1. Datos del equipo.
2. Descripción del servicio ejecutado.
3. Recursos utilizados.
4. Descripción del trabajo.
5. Cierre y validación.

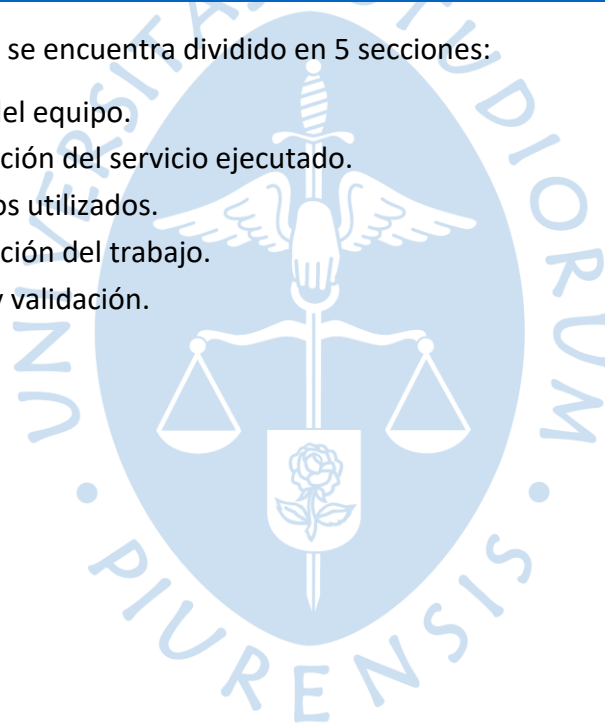
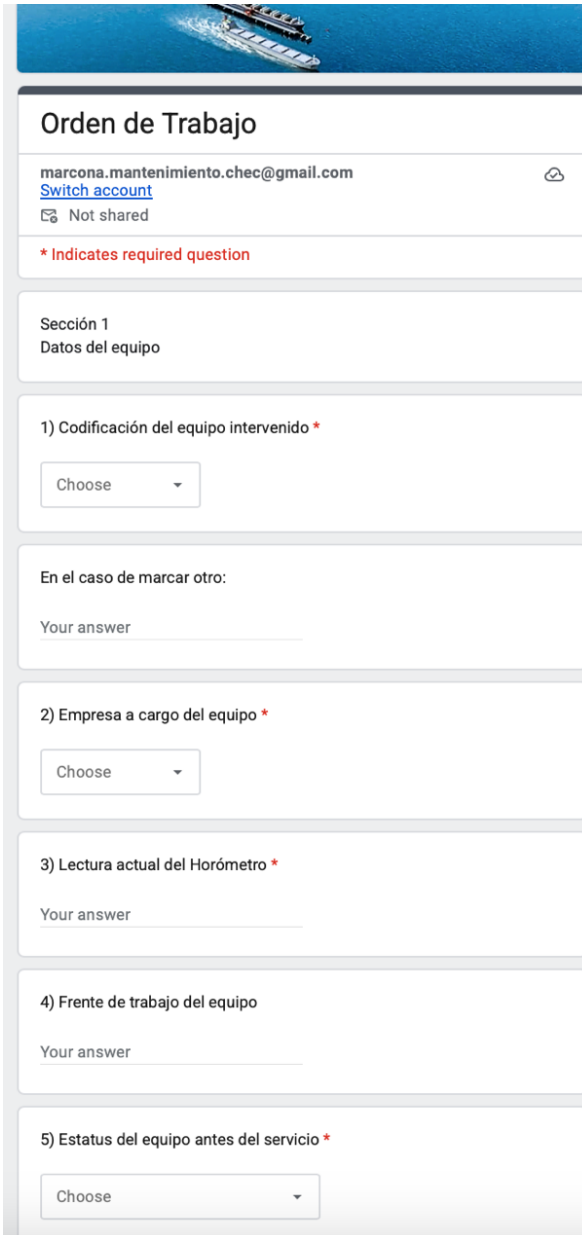


Figura 13*Sección 1 de la OT digital*

The image shows a mobile application interface for a digital work order. At the top, there is a blue header with a boat on water. Below the header, the title 'Orden de Trabajo' is displayed. The user's email 'marcona.mantenimiento.chec@gmail.com' is shown with a 'Switch account' link and a 'Not shared' status. A red asterisk indicates a required question. The form is divided into sections: 'Sección 1 Datos del equipo', '1) Codificación del equipo intervenido *' with a 'Choose' dropdown, 'En el caso de marcar otro:' with a text input, '2) Empresa a cargo del equipo *' with a 'Choose' dropdown, '3) Lectura actual del Horómetro *' with a text input, '4) Frente de trabajo del equipo' with a text input, and '5) Estatus del equipo antes del servicio *' with a 'Choose' dropdown.

Con el objetivo de agilizar el acceso de los técnicos encargados de ejecutar el mantenimiento, el enlace de ingreso al formulario fue compartido en los distintos grupos de trabajo a través de aplicaciones de mensajería instantánea. Asimismo, se generó un código QR (Quick Response), el cual fue colocado en puntos estratégicos del taller de mecánica, permitiendo a los trabajadores acceder de manera rápida y sencilla al formulario mediante el uso de la cámara de sus dispositivos móviles.

Figura 14*QR implementado*

2.2.2.1 Proceso de implementación de la Orden de Trabajo digital. En la etapa de implementación de la Orden de Trabajo (OT) digital desarrollada mediante la herramienta Google Forms, se ha definido iniciar su aplicación bajo un enfoque piloto, delimitando su alcance exclusivamente a los equipos utilizados por la empresa CHEC, sin incluir en esta fase inicial a los equipos pertenecientes a la empresa Haiyuan.

Esta decisión metodológica se sustenta en los siguientes criterios técnicos y operativos:

- Control del alcance y reducción de la variabilidad operativa: Los equipos de CHEC y Haiyuan presentan diferencias en cuanto a uso, responsables de mantenimiento, criterios de intervención y flujos de autorización. Al limitar la implementación a los equipos de CHEC, se garantiza un entorno más controlado y consistente para la validación del sistema.
- Validación progresiva de la herramienta: Una vez publicada la herramienta digital se inicia una fase de prueba en la que se podrá detectar posibles errores en el formulario. Aplicar la OT digital inicialmente solo a los equipos de CHEC permite realizar ajustes antes de una implementación a mayor escala.
- Capacitación del personal: La implementación de esta herramienta requiere de una capacitación del personal técnico que se encargará del llenado del formulario. Enfocar la implementación solo a la flota de equipos de CHEC brinda un mayor control del personal durante el periodo de prueba, con ello se podrá evaluar la acogida por parte del equipo técnico de Latinoamérica para con ello determinar el proceso que se realizará para la expansión del alcance.

- Calidad y trazabilidad de la información recolectada: Como ya se expresó anteriormente, el objeto principal de la implementación de esta herramienta digital es obtener información confiable para la medición de indicadores clave de desempeño (KPI) que permita evaluar la condición del sistema de mantenimiento actual. Enfocar la etapa de prueba solo en la flota de equipos a cargo de CHEC mejorará la trazabilidad de la información, lo que agilizará la revisión de los registros.
- Permite un enfoque de mejora continua: En la cual se evaluará, optimizará y validará la Orden de Trabajo planteado.

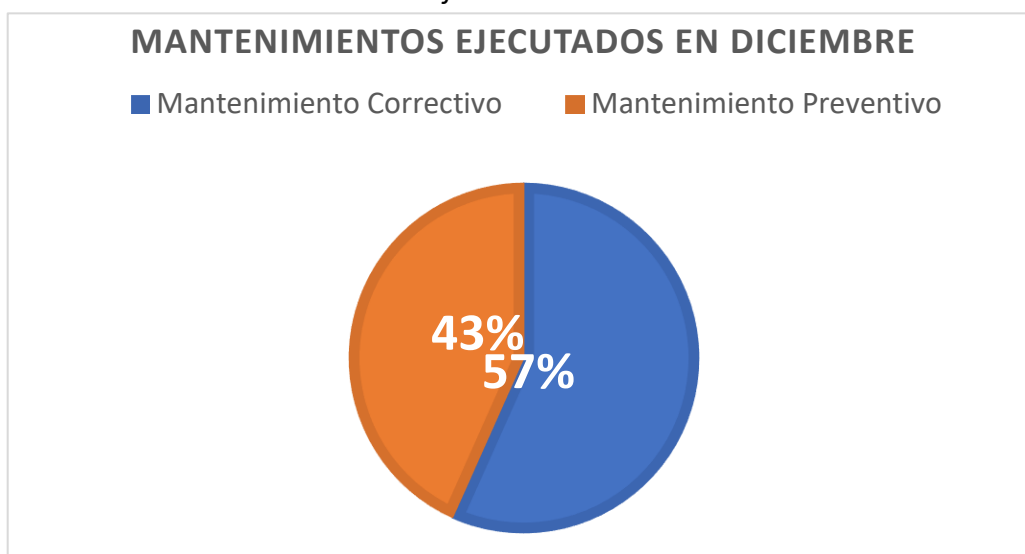
2.2.2.2 Evaluación preliminar de la implementación. Tal como se mencionó en el apartado anterior, se realizó una implementación bajo un enfoque piloto de la Orden de Trabajo digital diseñada, por lo que se aplicó únicamente a los equipos utilizados por la empresa CHEC durante el mes de diciembre de 2025.

Durante este mes se obtuvo un total de 30 registros de servicios realizados. La tabla de valores recolectados se encuentra anexada a este estudio en el Anexo C Con ello se inicia a evaluar lo valores recolectados durante el mes de diciembre de 2025.

El primer valor a observar es el número de servicios por tipo registrados durante este mes. Se registraron un total de 17 servicios correctivos y 13 preventivos, donde los correctivos representan el 57% de los mantenimientos aplicados durante el periodo de prueba. Esto contrasta notablemente con los valores obtenidos anteriormente, en donde, si bien en un mes el porcentaje de servicios correctivos se acercó al valor de preventivos, las reparaciones no superaron en ningún momento los servicios preventivos de los equipos.

Figura 15

Distribución de mantenimientos ejecutados



Se estima que la posible causa que explique esto es que la implementación de una herramienta que pueda recolectar rápidamente la información de servicios ejecutados pueda sincerar el número real de mantenimientos realizados, en donde antes, por complejidad de registro, se podían haber omitido algunos servicios de mantenimiento de corrección de fallas. Lo que valida que esta metodología ofrece una mejor capacidad de registro ofreciendo un valor completo y fiel, lo que es una base mas confiable para los KPI que se evaluarán posteriormente.

El siguiente valor a evaluar de los datos obtenidos de la Orden de Trabajo digital son los mantenimientos realizados por frente de trabajo. En este apartado podemos evaluar cuales son los frentes con mayores incidencias de fallas, cuyos equipos presentan problemas con mayor frecuencia y lo cual se desemboca en un número de servicios de mantenimiento correctivos mayor. Los valores obtenidos fueron los siguientes.

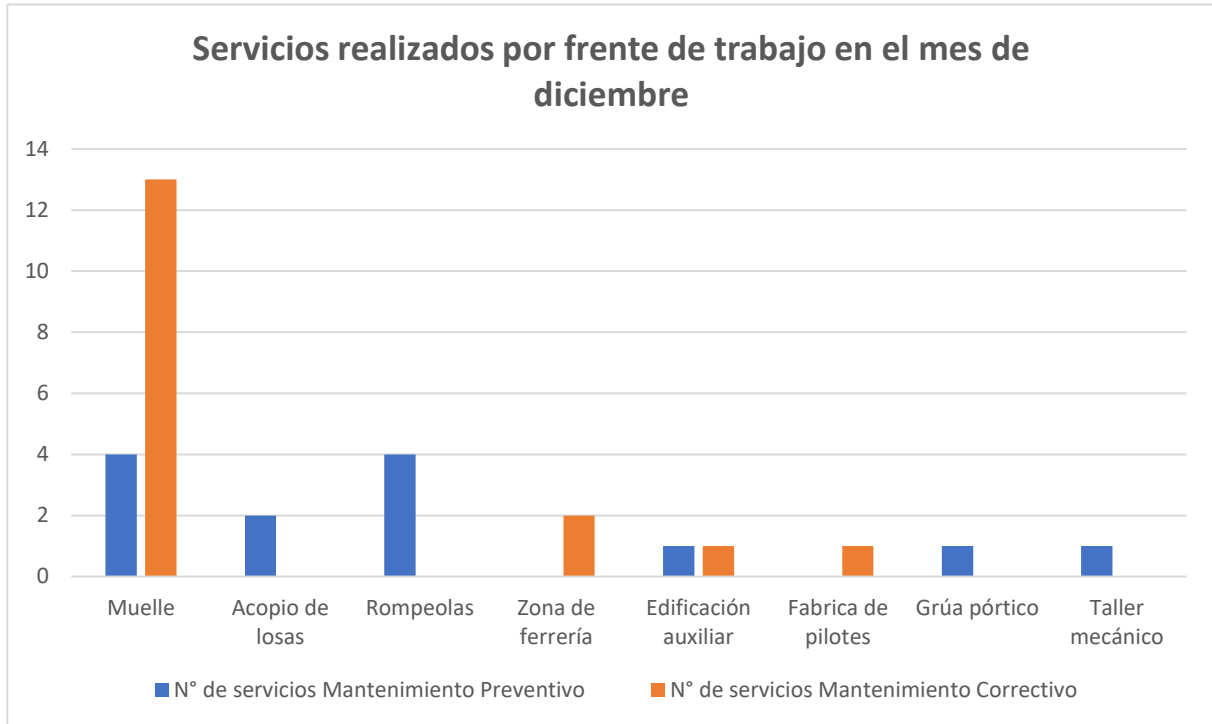
Tabla 10

Tipos de mantenimientos ejecutados en cada frente de trabajo

Frente de trabajo	N° de servicios		TOTAL
	Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Correctivo	
Muelle	4	13	17
Acopio de losas	2	0	2
Rompeolas	4	0	4
Zona de ferrería	0	2	2
Edificación auxiliar	1	1	2
Fabrica de pilotes	0	1	1
Grúa pórtico	1	0	1
Taller mecánico	1	0	1
TOTAL	13	17	30

Figura 16

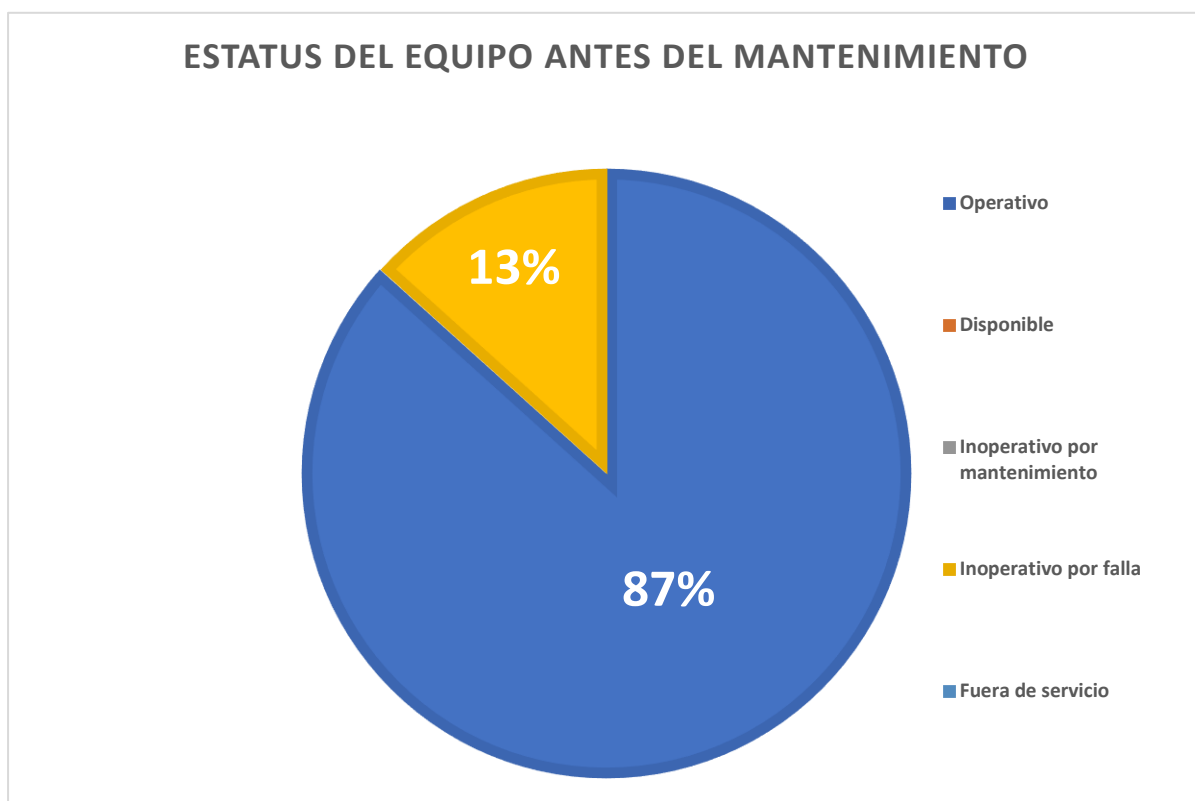
Diagrama de barras de tipos de mantenimientos ejecutados por frente de trabajo



Los valores expresan que el frente cuyos equipos presentaron un mayor número de mantenimientos aplicados es el muelle, lo cual expresa la alta demanda de trabajo que tiene el frente. Los equipos del muelle presentaron un total de 17 servicios, predominando el mantenimiento correctivo con 14 reparaciones realizadas contra los 4 servicios de mantenimiento preventivo que recibieron sus equipos, esto muestra la necesidad de desarrollar un mayor control y análisis a los servicios implementados a los equipos de esta zona, ya que el plan de mantenimiento realizado actualmente se enfoca más en la reparación de la falla antes que en la prevención a que esta aparezca. Estos valores ayudan a priorizar la atención y los recursos a los equipos de esta zona de trabajo ya que se aprecia que la demanda de trabajo es mayor. Esto es completamente lógico ya que el objetivo principal del proyecto es la construcción del muelle, lo que muestra un requerimiento mayor de equipos y recursos enfocados a este frente.

El siguiente dato a evaluar es el estatus del equipo antes del servicio a implementar, lo que permite evaluar la disponibilidad del equipo antes del mantenimiento.

Los valores obtenidos se muestran a continuación.

**Tabla 11***Estatus previo al mantenimiento*

Estatus antes del mantenimiento	Cantidad
Operativo	26
Disponible	0
Inoperativo por mantenimiento	0
Inoperativo por falla	4
Fuera de servicio	0
TOTAL	30

Los resultados muestran que de los 30 equipos a intervenir en el mes de diciembre, 26 se encontraban operativos al iniciar el servicio de mantenimiento y tan solo 4 se encontraban inoperativos por la falla presentada. Esto es un valor favorable mostrando que los equipos en su mayoría presentan un estado óptimo permisible para desarrollar sus actividades con regularidad.

El último factor a evaluar de la información recopilada es la disponibilidad de los repuestos necesarios para el desarrollo de los mantenimientos. Cuyos valores obtenidos se muestran a continuación.

Figura 18

Disponibilidad de los repuestos

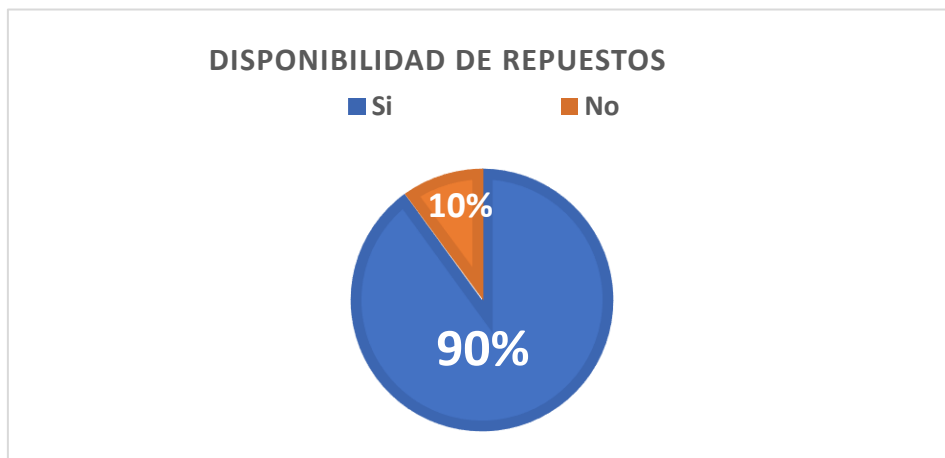


Tabla 12

Datos de mantenimientos sin repuestos disponibles

Código del Equipo	Frete de trabajo	Fecha de inicio del servicio	Hora de inicio del servicio	Fecha de fin del servicio	Hora de fin del servicio	Tiempo estimado de mantenimiento	Repuestos y materiales utilizados	¿Los repuestos y materiales necesarios estuvieron disponibles en almacén?	Escribe que repuestos no hubieron (si aplica)	Descripción del trabajo realizado	Observaciones técnicas
VH-08	Muelle	23/12/2025	11:00:00 a.m.	24/01/2026	10:00:00 a.m.	1 día	Correas de polea	No	Faltaron 4 correas	Cambio de 9 correas en la polea principal	Rutura por desgaste
CQ-04	Muelle	17/12/2025	14:00:00 p.m.	18/12/2025	09:00:00 a.m.	1 día	Mangueras hidráulicas de alta presión	No	No había mangueras de alta presión de las características necesarias	Instalación de manguera hidráulica operativa y engrase de los cables de la grúa	Desgaste de la manguera por trabajo
FL-04	Muelle	19/12/2025	10:00:00 a.m.	26/12/2025	11:00:00 a.m.	7 días	Pastilla, pistones	No	Pastillas de freno de cargador frontal	Cambio de pastillas y pistones de freno delantero y posterior	Deterioro por uso exigente

Procedemos a evaluar los datos de estos 3 casos específicos. Los valores principales de estos casos se muestran a continuación.

El cuadro anterior muestra como repercute la ausencia de los repuestos necesarios en la finalización de los mantenimientos de los equipos, siendo el caso de los servicios implementados a los equipos VH-06 (martillo hidráulico de incado del pilote) y la CQ-04 (grúa celosía), los cuales requirieron repuestos cuya adquisición se realizaron en la ciudad de Nasca, para lo cual personal tuvo que ir con una muestra hasta el local para obtener los equivalentes necesario, debido a la cercanía de la ciudad esta adquisición de repuestos solo tomó un día para su reparación. Sin embargo, en el caso de la falla presentada en el equipo FL-04 (cargador frontal), las pastillas requeridas para su reparación requirieron una adquisición desde la ciudad de Lima, para lo que se requirió enviar la muestra y la espera del envío de retorno hacia Marcona, tomando un total de 7 días para volver a habilitar el equipo.

Con todo lo evaluado se concluye que la implementación piloto de la Orden de Trabajo digital permitió validar su aplicación y utilidad como herramienta de registro y como base de datos para el análisis de diferentes rasgos importantes del mantenimiento de la empresa. Con lo que en la prueba realizada se pudo mejorar la trazabilidad y fidelidad de la información del estado del mantenimiento, pudiendo así sincerar la cantidad de procedimientos correctivos implementados, lo que demuestra una mejora a comparación del mecanismo de recolección de información inicial. Además se pudo identificar al muelle como el frente con mayor demanda de intervenciones dentro de proyecto, lo que permite tomar acciones sobre los procedimientos a realizar sobre los equipos presentes en esta zona de trabajo.

En conjunto los resultados muestran que la Orden de Trabajo digital implementada es una herramienta clave para el análisis del proceso de mantenimiento desarrollado en los equipos de la empresa.

2.3 Diseño del plan basado en Indicadores Clave de Desempeño (KPI)

El padre de la administración moderna Peter Drucker dijo “Lo que no se puede medir, no se puede controlar, lo que no se puede controlar, no se puede gestionar y lo que no se puede gestionar, no se puede mejorar”. Los KPI son una herramienta importante para la generación de mejora en los procesos de los proyectos, ya que ayudan a medir, controlar y evaluar de manera objetiva el desempeño del sistema de mantenimiento ejecutado.

En el presente apartado iniciaremos con el diseño del plan de mantenimiento basado en KPI, iniciando con la selección de los indicadores a aplicar en este estudio para posteriormente aplicar cada uno de ellos en base a la información recolectada de la Orden de Trabajo digital implementada anteriormente. Finalmente analizaremos los valores obtenidos por con ello iniciar a formular las propuestas de mejoras del mantenimiento desarrollado por la empresa. Cabe mencionar que en este apartado no ahondará en la teoría de los indicadores

clave de desempeño aplicados ya que ellos ya han sido explicados previamente en el capítulo 1.

2.3.1 Selección de los Indicadores Clave de Desempeño (KPI) a implementar

La selección de los indicadores clave de desempeño no responde a una aplicación genérica de métricas de mantenimiento, sino a la necesidad de medir aquellos aspectos que impactan directamente en la disponibilidad operativa de los equipos, la confiabilidad del sistema y la eficiencia en la ejecución de las intervenciones. En ese sentido, los indicadores seleccionados se encuentran directamente alineados con los problemas identificados en el diagnóstico inicial del mantenimiento.

Como vimos en el capítulo 1, son varios los indicadores de rendimiento de mantenimiento existentes y aplicados en la industria, pero este estudio se enfocará en aquellos que puedan ayudar a reconocer rasgos importantes en el mantenimiento ejecutado para realizar la toma de decisiones que generen un impacto de mejora en este proceso.

Una problemática que hemos podido reconocer a lo largo de este estudio es la veracidad de la información obtenida mediante los distintos mecanismos de recopilación y tratamiento de datos actuales, en especial en cuanto a disponibilidad de equipos se trata. Esta situación se evidencia en la última evaluación de disponibilidad de los equipos del proyecto realizado a finales del mes de noviembre, valores que se representan la *tabla 7*, el cual expresa que el 100% de los equipos críticos de CHEC se encontraban en condición disponible. Si bien esta información puede ser válida en el momento preciso en el que se hizo la recolección de los datos, sin embargo, se considera que no refleja de manera fiel el comportamiento real de la disponibilidad de los equipos a lo largo del tiempo. Esto se corrobora al implementar la OT digital en el apartado anterior, mediante la cual se identificaron los equipos inoperativos por falla, se presentaron algunos equipos críticos detenidos por no contar con los repuestos necesarios para el mantenimiento. Para ello en este apartado se selecciona la implementación del indicador clave de rendimiento **Disponibilidad Operativa**, con el fin de contar con una medición objetiva del estado real de los equipos, en especial de aquellos que son críticos.

Mediante el análisis de la información recopilada por la OT digital fue posible detectar un problema que impacta fuertemente en la disponibilidad de los equipos, que es el tiempo que toma el equipo para pasar del estado de inoperativo por mantenimiento o falla a pasar al estado de disponible. En la *tabla 12* se observa la información recopilada del mantenimiento aplicado a 3 equipos (VH-08, CQ-04 y FL-04), los cuales resaltaron de los demás por el tiempo que tomó el mantenimiento de reparación del equipo, el cual se prolongó por la falta de repuestos necesarios en el almacén del proyecto. Por ello se propone la implementación del indicador clave de rendimiento **Tiempo Medio de Reparación (MTTR)**, con el cual permitirá analizar la eficiencia de los procesos de mantenimiento ejecutados.

Otro problema recurrente identificado en el desarrollo del mantenimiento es la frecuencia con la que se presentan las fallas, para ello se propone la implementación del indicador clave de rendimiento **Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF)**, el cual dará la confiabilidad de los equipos al medir el tiempo promedio de operación entre fallas consecutivas. Este indicador es fundamental para identificar equipos críticos y evaluar la efectividad del mantenimiento preventivo.

2.3.2 Cálculo del Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF)

La ecuación que brinda este indicador es el resultado de dividir el tiempo total de operación entre el total de fallas ocurridas en un intervalo a estudiar.

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo total de operación}}{\textit{Número total de fallas}}$$

Para la implementación de este indicador iniciaremos por determinar el intervalo de tiempo a estudiar. Este intervalo de tiempo será el mismo que se aplicó a la prueba piloto de la implementación de la Orden de Trabajo digital, que fue el periodo del mes de diciembre del año 2025, debido a que este mes presenta 2 en que la empresa no laboró, solo se considera un periodo de 29 días. El siguiente aspecto por considerar es el valor de las horas laboradas por cada equipo, los cuales fueron asignados junto al área de producción. Al multiplicar las horas de trabajo diario por equipo por los días de trabajo de los equipos obtenemos el tiempo total de operación. Con todo esto se obtuvo la siguiente información.

A continuación, se separan los equipos a los cuales se determinará la MTBF. Este grupo de equipos sobre el cual se aplicará este indicador estará conformado por los equipos que presentaron un mantenimiento ejecutado durante el periodo de aplicación, ya que el indicador solo evalúa las fallas presentadas en el periodo evaluado, por ello se filtrará a los equipos que presentaron un mantenimiento correctivo en el mes de diciembre. Con ello procedemos a dividir el tiempo total de operación entre el número total de fallas para obtener nuestro indicador.

Tabla 13*Cálculo del indicador MTBF*

Equipos	Número de fallas	Tiempo total de operación	MTBF (horas)
VH-01	1	232	232
VH-08	1	232	232
CQ-01	1	464	464
CQ-02	1	464	464
CQ-04	4	464	116
CQ-12	1	464	464
CQ-06	2	464	232
VH-ICE	1	232	232
MQ-03	1	232	232
Q-05	1	232	232
Q-04	1	464	464
FL-04	1	290	290
Q-02	1	464	464

2.3.3 Cálculo del Tiempo Medio de Reparación (MTTR)

La ecuación que brinda este indicador es el resultado de dividir el tiempo total de reparación entre el total de fallas ocurridas en un intervalo a estudiar.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{Número total de fallas}}$$

Empezamos con definir las variables a utilizar para la determinación de este indicador. Iniciamos con la variable “Tiempo total de reparación”, la cual la podemos calcular con los datos recolectados de la Orden de Trabajo digital. Para este cálculo tomamos en consideración las horas de trabajo del personal de mantenimiento, las cuales son de 8am a 12pm y de 1:30pm a 6pm. de lunes a domingo.

Para la variable de “Número total de fallas” solo tomamos los valores obtenidos de la OT digital. De igual manera que con el indicador MTBF, segmentamos el cálculo del indicador MTTR, utilizando solo los datos de los equipos que han presentado una falla. Con ello obtenemos los siguientes valores de MTTR.

Tabla 14*Cálculo del indicador MTTR*

Codificación del equipo intervenido	Tipo de servicio realizado	Fecha de inicio del servicio	Hora de inicio del servicio	Fecha de fin del servicio	Hora de fin del servicio	Tiempo total de reparación (horas)	Número de fallas	MTTR (horas)
VH-01	Mantenimiento Correctivo	24/12/2025	10:25:00 a.m.	24/12/2025	14:30:00 p.m.	2.5	1	2.5
VH-08	Mantenimiento Correctivo	23/12/2025	11:00:00 a.m.	24/01/2026	10:00:00 a.m.	7.5	1	7.5
CQ-01	Mantenimiento Correctivo	08/12/2025	10:10:00 a.m.	08/12/2025	12:00:00 p.m.	1.8	1	1.8
CQ-02	Mantenimiento Correctivo	17/12/2025	9:30:00 a. m.	17/12/2025	11:00:00 a.m.	1.5	1	1.5
CQ-04	Mantenimiento Correctivo	17/12/2025	2:00:00 p. m.	18/12/2025	09:00:00 a.m.	5	4	3.5625
	Mantenimiento Correctivo	10/12/2025	10:15:00 a.m.	10/12/2025	11:00:00 a.m.	0.75		
	Mantenimiento Correctivo	14/12/2025	10:00:00 a.m.	14/12/2025	15:00:00 p.m.	3.5		
	Mantenimiento Correctivo	03/12/2025	10:00:00 a.m.	03/12/2025	16:30:00 p.m.	5		
CQ-12	Mantenimiento Correctivo	08/12/2025	9:30:00 a. m.	08/12/2025	11:00:00 a.m.	1.5	1	1.5
CQ-06	Mantenimiento Correctivo	08/12/2025	3:00:00 p. m.	08/12/2025	18:00:00 p.m.	3	2	2.75
CQ-06	Mantenimiento Correctivo	29/12/2025	8:30:00 a. m.	29/12/2025	11:00:00 a.m.	2.5		
VH-HCE	Mantenimiento Correctivo	05/12/2025	2:00:00 p. m.	05/12/2025	17:30:00 p.m.	3.5	1	3.5
MQ-03	Mantenimiento Correctivo	08/12/2025	10:30:00 a.m.	08/12/2025	16:00:00 p.m.	4	1	4
Q-05	Mantenimiento Correctivo	17/12/2025	9:20:00 a. m.	17/01/2026	15:00:00 p.m.	4.2	1	4.2
Q-04	Mantenimiento Correctivo	05/12/2025	9:30:00 a. m.	01/12/2025	16:30:00 p.m.	5.5	1	5.5
FL-04	Mantenimiento Correctivo	19/12/2025	10:00:00 a.m.	26/12/2025	11:00:00 a.m.	50.5	1	50.5
Q-02	Mantenimiento Correctivo	20/12/2025	8:30:00 a. m.	20/12/2025	10:30:00a.m	2	1	2

2.3.4 Cálculo de la Disponibilidad Operativa

La ecuación que brinda este indicador es el resultado de dividir la resta de las horas de trabajo requerido del equipo con las horas de mantenimiento implementados al equipo entre las horas calendario de trabajo requerido al equipo,

$$DO = \frac{\text{Horas de trabajo requerido} - \text{Horas de mantenimiento}}{\text{Horas calendario de trabajo requerido}}$$

Empezamos con definir como obtener la variable “Horas de trabajo requerido”, para lo cual fue necesario primero determinar el valor de las horas laboradas por cada equipo al día, los cuales fueron asignados junto al área de producción, este valor se multiplica posteriormente con los 29 días laborales asignados para el mes de diciembre, con lo que tenemos el total de horas de trabajo requerido por equipo.

La siguiente variable es “Horas de mantenimiento”, para determinar el valor se usan los datos recolectados de la Orden de Trabajo digital. Para este cálculo tomamos en consideración las horas de trabajo del personal de mantenimiento, las cuales son de 8am a 12pm y de 1:30pm a 6pm. de lunes a domingo.

Con ello obtenemos los valores de Disponibilidad Operativa representados en la *tabla 15*.



Tabla 15

Cálculo de disponibilidad operativa

Tiempo total de mantenimiento (horas)	Tipo de servicio realizado	Fecha de inicio del servicio	Hora de inicio del servicio	Fecha de fin del servicio	Hora de fin del servicio	Tiempo total de mantenimiento (horas)	Horas de trabajo diario	Días de trabajo	Tiempo total de operación	Disponibilidad Operativa	Criticidad
VH-01	Mantenimiento Correctivo	24/12/2025	10:25:00 a.m.	24/12/2025	14:30:00 p.m.	2.5	8	29	232	98.92%	Crítico
VH-08	Mantenimiento Correctivo	23/12/2025	11:00:00 a.m.	24/01/2026	10:00:00 a.m.	7.5	8	29	232	96.77%	Crítico
CQ-09	Mantenimiento Preventivo	01/12/2025	9:00:00 a. m.	01/12/2025	12:00:00 p.m.	3	16	29	464	99.35%	No crítico
CQ-15	Mantenimiento Preventivo	10/12/2025	9:30:00 a. m.	10/12/2025	11:50:00 a.m.	2.3	16	29	464	99.50%	No crítico
CQ-01	Mantenimiento Correctivo	08/12/2025	10:10:00 a.m.	08/12/2025	12:00:00 p.m.	1.8	16	29	464	99.61%	No crítico
CQ-02	Mantenimiento Correctivo	17/12/2025	9:30:00 a. m.	17/12/2025	11:00:00 a.m.	1.5	16	29	464	99.68%	No crítico
CQ-04	Mantenimiento Correctivo	17/12/2025	2:00:00 p. m.	18/12/2025	09:00:00 a.m.	5	16	29	464	96.93%	No crítico
CQ-04	Mantenimiento Correctivo	10/12/2025	10:15:00 a.m.	10/12/2025	11:00:00 a.m.	0.75					
CQ-04	Mantenimiento Correctivo	14/12/2025	10:00:00 a.m.	14/12/2025	15:00:00 p.m.	3.5					
CQ-04	Mantenimiento Correctivo	03/12/2025	10:00:00 a.m.	03/12/2025	16:30:00 p.m.	5					
CQ-12	Mantenimiento Correctivo	08/12/2025	9:30:00 a. m.	08/12/2025	11:00:00 a.m.	1.5	16	29	464	99.68%	No crítico
CQ-08	Mantenimiento Preventivo	16/12/2025	10:00:00 a.m.	16/12/2025	15:00:00 p.m.	3.5	16	29	464	99.25%	No crítico
CQ-05	Mantenimiento Preventivo	30/12/2025	8:00:00 a. m.	30/12/2025	11:00:00 a.m.	3	16	29	464	99.35%	No crítico
CQ-06	Mantenimiento Correctivo	08/12/2025	3:00:00 p. m.	08/12/2025	18:00:00 p.m.	3	16	29	464	98.81%	No crítico
CQ-06	Mantenimiento Correctivo	29/12/2025	8:30:00 a. m.	29/12/2025	11:00:00 a.m.	2.5					
VH-ICE	Mantenimiento Correctivo	05/12/2025	2:00:00 p. m.	05/12/2025	17:30:00 p.m.	3.5	8	29	232	98.49%	Crítico
XW-01	Mantenimiento Preventivo	01/12/2025	9:00:00 a. m.	01/12/2025	12:00:00 p.m.	3	8	29	232	98.71%	Crítico
MP-01	Mantenimiento Preventivo	27/12/2025	9:00:00 a. m.	27/12/2025	12:00:00 p.m.	3	12	29	348	99.14%	Crítico
MQ-03	Mantenimiento Correctivo	08/12/2025	10:30:00 a.m.	08/12/2025	16:00:00 p.m.	4	8	29	232	98.28%	No crítico
Q-05	Mantenimiento Correctivo	17/12/2025	9:20:00 a. m.	17/01/2026	15:00:00 p.m.	4.2	8	29	232	98.19%	No crítico
Q-04	Mantenimiento Correctivo	05/12/2025	9:30:00 a. m.	01/12/2025	16:30:00 p.m.	5.5	16	29	464	98.81%	No crítico
FL-04	Mantenimiento Correctivo	19/12/2025	10:00:00 a.m.	26/12/2025	11:00:00 a.m.	50.5	10	29	290	82.59%	No crítico
F-27	Mantenimiento Preventivo	25/12/2025	10:00:00 a.m.	25/12/2025	15:00:00 p.m.	3.5	23	29	667	99.48%	No crítico
F-32	Mantenimiento Preventivo	15/12/2025	9:00:00 a. m.	15/12/2025	12:00:00 p.m.	3	23	29	667	99.55%	No crítico
F-36	Mantenimiento Preventivo	15/12/2025	8:30:00 a. m.	15/12/2025	10:30:00 a.m.	3	23	29	667	99.55%	No crítico
F-26	Mantenimiento Preventivo	23/12/2025	9:00:00 a. m.	23/12/2025	12:00:00 p.m.	3	23	29	667	99.55%	No crítico
F-06	Mantenimiento Preventivo	30/12/2025	11:00:00 a.m.	30/12/2025	16:00:00 p.m.	3.5	23	29	667	99.48%	No crítico
F-25	Mantenimiento Preventivo	23/12/2025	9:00:00 a. m.	23/12/2025	12:00:00 p.m.	3	23	29	667	99.55%	No crítico
F-15	Mantenimiento Preventivo	23/12/2025	2:00:00 p. m.	23/12/2025	17:00:00 p.m.	3	23	29	667	99.55%	No crítico
Q-02	Mantenimiento Correctivo	20/12/2025	8:30:00 a. m.	20/12/2025	10:30:00a.m.	2	16	29	464	99.57%	No crítico

2.4 Análisis y discusión de resultados

2.4.1 Impacto de la implementación de la Orden de Trabajo digital en la gestión del mantenimiento

La implementación de una Orden de Trabajo digital permitió estandarizar y sistematizar el registro de las actividades de mantenimiento ejecutadas en los equipos del proyecto. Facilitando la recolección de información relevante, como el tipo de mantenimiento realizados, tiempo de intervención de los equipos, recursos empleados, repuestos utilizados, disponibilidad de los repuestos requeridos y la condición final del equipo. Esta mejora tuvo un impacto en la confiabilidad de los datos utilizados para el análisis del estado del sistema de mantenimiento.

La OT digital permitió registrar con mayor precisión los tiempos de inicio y fin de cada intervención, lo que facilitó el análisis de los tiempos reales de los mantenimientos ejecutados a los equipos. Esta información es clave para evaluar el desempeño del proceso correctivo, permitiendo identificar oportunidades de mejora orientadas a la reducción de los tiempos de inoperatividad, que en consecuencia, presentará una mejora progresiva en la disponibilidad de los equipos.

Adicionalmente ha permitido evaluar la alta demanda que tiene el frente de trabajo del muelle, lo cual permite reenfocar la prioridad de mantenimiento preventivo de los equipos a esta área de operación del proyecto.

Esta herramienta asu vez representa el inicio del registro de información del estado del equipo, ya que podrá generar un historial de cada uno de los equipos del proyecto. Esto favorecerá a la toma de decisiones futuras.

La Orden de trabajo es la base de nuestro nuevo diseño de sistema de mantenimiento, gracias a esta herramienta se obtiene la información necesaria para la implementación de los Índices de rendimiento, que repercute en la optimización de este proceso. Demostrando que la OT digital no solo funciona como una herramienta operativa, sino también como un soporte para la gestión estratégica del mantenimiento.

2.4.2 Comportamiento de los Indicadores Clave de Desempeño

2.4.2.1 Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF). La representación gráfica de los valores obtenidos del cálculo del indicador Tiempo Medio Entre Fallas se representa en la *figura 19*.

En los resultados obtenidos se observa que la mayoría de los equipos presentan valores MTBF iguales o mayor a 232 horas, lo que indica una frecuencia de fallas baja durante el mes de diciembre. El valor más alto de MTBF calculado lo presentan en su mayoría la familia de las grúas, teniendo a los equipos CQ-01, CQ-02, CQ-12, Q-04 y Q-02 alcanzando un valor de MTBF igual a 464 horas, lo que evidencia que operaron durante todo el periodo evaluado con solo una falla registrada. Este comportamiento representa una alta confiabilidad de parte de estos

equipos y sugiere que las estrategias de mantenimiento aplicadas a estos equipos han sido efectivas para mantener condiciones operativas estables.

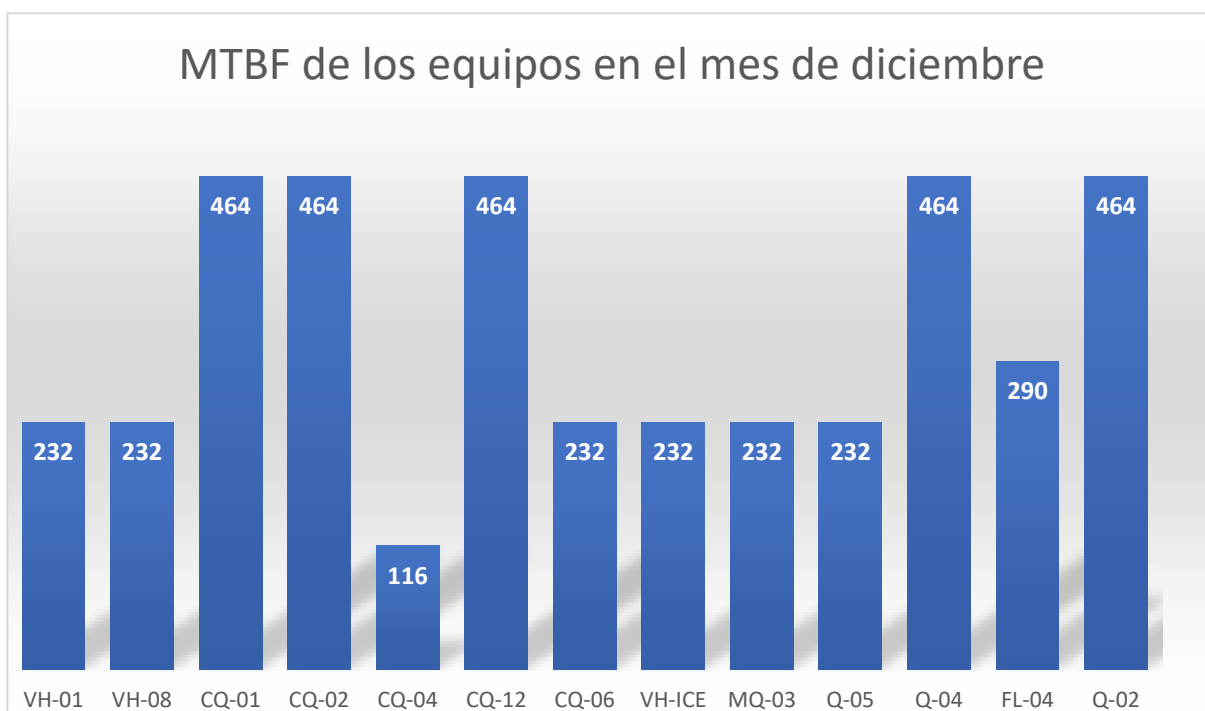
Por otro lado, tenemos a los equipos VH-01, VH-08, CQ-06, VH-ICE, MQ-03, Q-05 y FL-04, los cuales cuyo valor calculado de MTBF están entre las 232 y 290 horas. El valor obtenido por estos equipos también representan un desempeño aceptable, mostrando que los equipos no presentan fallas recurrentes y se mantuvieron dentro de rangos controlados, por lo que no representan una condición crítica.

Un caso particular es el valor obtenido de 116 horas por parte de la grúa celosía CQ-04, siendo el más bajo del mes de diciembre. Este valor representa las cuatro fallas que tuvo el equipo durante el mes de diciembre, lo que clasifica al equipo como el más crítico de la flota en cuanto a confiabilidad se trata. Este resultado sugiere la necesidad de realizar un análisis completo y profundo del estado total de la máquina, así como un desarrollo más activo y primordial de mantenimientos preventivos al equipo, un análisis de las condiciones de operación del equipo.

Con ello el indicador MTBF nos expresa que el conjunto de equipos de CHEC presenta un comportamiento estable, con la excepción puntual del equipo CQ-04 el cual requiere priorizarse para acciones de mejora.

Figura 19

Gráfica de barras de los valores del indicador MTBF en el mes de diciembre



2.4.2.2 Tiempo Medio de Reparación (MTTR). La representación gráfica de los valores obtenidos del cálculo del indicador Tiempo Medio de Reparación se representa en la *figura 20*.

En los resultados obtenidos se observa que la mayoría de los equipos de CHEC presentan valores de MTTR por debajo de las 4 horas, lo que expresa una capacidad respuesta adecuada por parte del equipo de mantenimiento y una correcta ejecución de actividades correctivas. Valores entre los 1.5 y 2.5 horas presentadas en los equipos CQ-02, CQ-12, CQ-01, VH-01 y Q-02 evidencian intervenciones rápidas y eficiente de respuesta ante fallas de baja complejidad.

En los valores se presenta el caso de la grúa telescópica CQ-06 que obtuvo un MTTR de 2.75 horas, este equipo presentó 2 fallas en el periodo evaluado, lo que representa un tiempo promedio estable, sugiriendo consistencia en la ejecución de servicios correctivos, aunque con margen de mejora.

En el caso de los valores obtenidos por los equipos VH-ICE, MQ-03 y Q-05 presentan valores de MTTR entre los 3.5 y 4.2 horas. Estos valores reflejan la aparición de fallas de mayor complejidad técnica, lo que representa una oportunidad de mejora.

En cuanto al caso particular del equipo CQ-04 que tuvo 4 reparaciones en el mes de diciembre, presenta un valor de MTTR de 3.56 horas. Si bien este valor no es excesivamente alto, pero si se analiza junto al valor de MTBF de 116 horas, evidencian que el equipo presenta una alta frecuencia de fallas y un tiempo de reparación moderados. Esto sugiere la necesidad de priorizar a este equipo para análisis de causa raíz y revisión del plan de mantenimiento preventivo

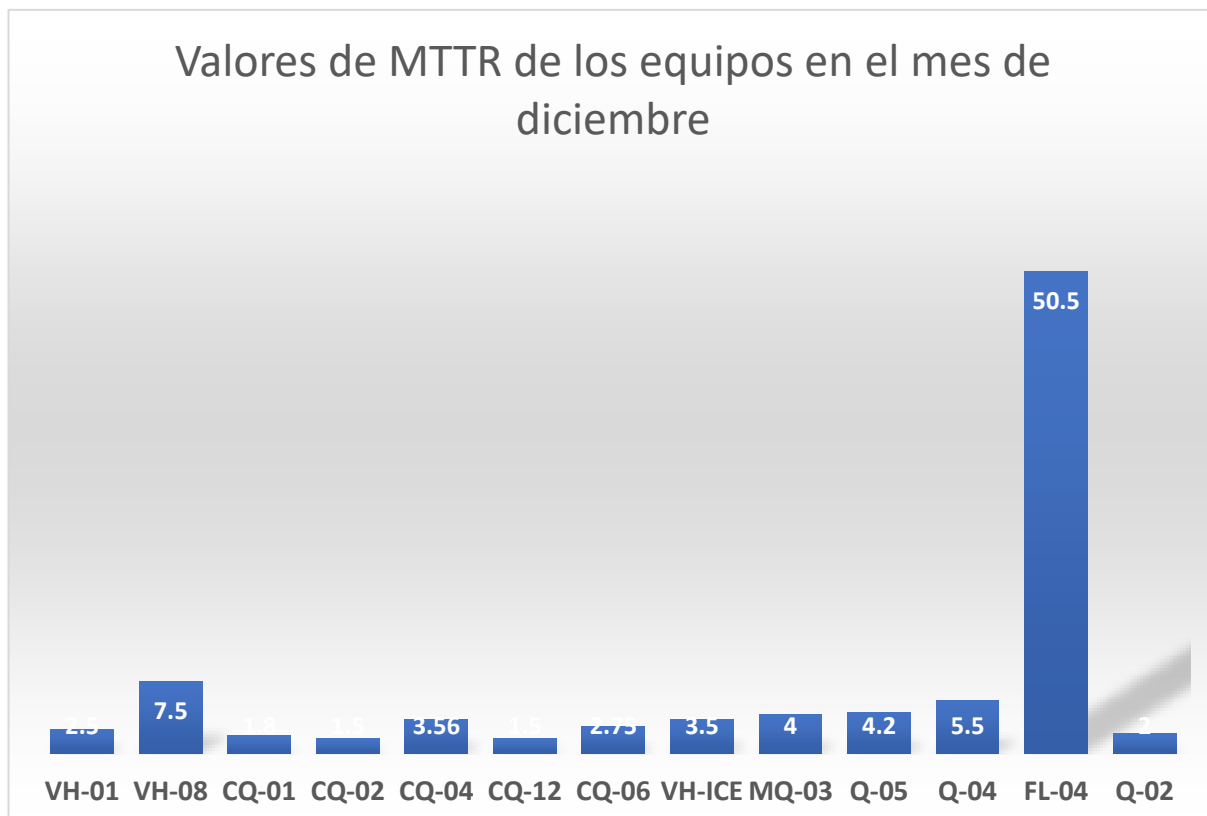
En cuanto a los equipos VH-08 y Q-04 presenta valores de 7.5 y 5.5 horas respectivamente, valores por encima de lo normal, representando servicios de mantenimiento correctivos de mayor duración. En el caso del equipo VH-08 refleja la dificultad que presentó el equipo de mantenimiento en la obtención de su repuesto, el cual tuvo que ser obtenido de la ciudad de Nasca, lo que postergó la finalización de su reparación hasta el siguiente día de iniciada la ejecución del mantenimiento correctivo. Esto muestra una oportunidad de mejora mediante el fortalecimiento de la logística de la stock de repuestos críticos, así como mejorar el enfoque del mantenimiento aplicado al equipo Q-04.

El caso más particular es el valor obtenido por el equipo FL-04, el cual obtuvo el valor más alto de MTTR con 50.5 horas, lo que si representa una condición crítica desde el punto de vista de mantenimiento. Este valor tan alto refleja la dificultad que tiene el equipo de mantenimiento ante la obtención de repuestos específicos, ya que en este caso particular se requirió enviar una muestra de la pieza a reemplazar a la ciudad de Lima para evaluación y posterior reenvío del repuesto a la ciudad de Marcona, lo que representó tener al equipo detenido durante todo ese periodo de tiempo.

El análisis general del MTTR nos indica una necesidad de mejora del mantenimiento ejecutado en los equipos FL-04 y VH-08, lo que nos sugiere realizar un análisis general de la máquina para poder determinar cuales son los posibles componentes propensos a presentar una falla a futuro, para con ello anteponerse a esa falla y contar con el repuesto necesario para su rápido reemplazo.

Figura 20

Valores de MTTR de los equipos en el mes de diciembre



2.4.2.3 Disponibilidad Operativa. La representación gráfica de los valores obtenidos del cálculo de la Disponibilidad Operativa se representa en la *figura 21*.

De los resultados obtenidos se observa que la gran mayoría de la flota de equipos presenta valores de disponibilidad operativa superiores al 98%, lo cual representa un sistema de mantenimiento capaz de responder de manera eficiente a las fallas y en la minimización de los tiempos de operatividad. Es importante mencionar que una ventaja que presenta la flota de equipos es la poca antigüedad relativa, lo que representa un equipo que presentará un rendimiento óptimo en sus primeros años de uso.

Al analizar a la familia de los generadores eléctricos, representados por los equipos F-27, F-32, F-36, F-26, F-06 y F-15, observamos que sus valores de disponibilidad se encuentran por encima del 99%. En un inicio, durante la etapa de desarrollo del plan de tesis, se creía que

estos equipos requerirían una mejora en el plan de mantenimiento desarrollado en ellos, ya que en la práctica diaria se veía que eran los equipos más utilizados por la empresa al tener algunos tiempos de trabajo por encima de las 20 horas diarias, sin embargo, mediante el desarrollo del estudio se evidencia que la característica de poca antigüedad de estos equipos junto a la estrategia de mantenimiento preventivo actual ejecutado sobre ellos los mantienen en un estado óptimo.

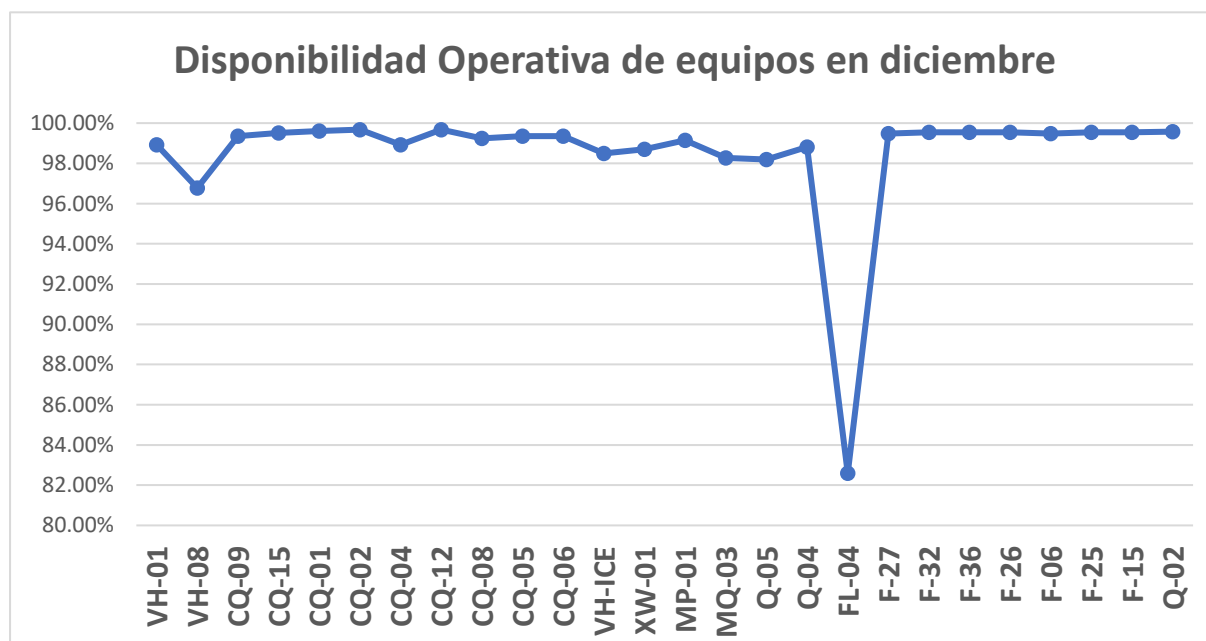
Equipos como pertenecientes a la familia de las grúas CQ-02, CQ-12, CQ-01, Q-02 y los generadores mencionados en el apartado anterior presentan una disponibilidad igual o superior a 99.5%, reflejando una combinación favorable de baja frecuencia de fallas, expresados en sus altos valores de MTBF, y tiempos de reparación reducidos, expresados en bajos valores de MTTR.

En el caso del equipo VH-08 cuenta una disponibilidad un poco menor a la mayoría de los equipos, este valor es coherente con el alto valor obtenido en el MTTR, lo que indica que si bien la frecuencia de fallas fue baja, el tiempo de reparación puede ser mejorado.

El caso más crítico es el equipo FL-04, cuyo valor de Disponibilidad Operativa resalta de los demás siendo 82.6% aproximadamente. De igual manera que con el caso del equipo anterior, es coherente con el valor MTTR obtenido, expresando una parada prolongada durante el servicio ejecutado. Como ya se mencionó esto es un reflejo del estado logístico de obtención de repuestos con una complejidad técnica mayor, siendo este uno de los principales factores a evaluar en la mejora del sistema de mantenimiento de la empresa.

Figura 21

Disponibilidad Operativa de los equipos en el mes de diciembre



2.4.3 Propuestas de mejoras al sistema de mantenimiento

En base al análisis de los valores de los indicadores obtenidos de en el mes de diciembre, se plantearon acciones de mejora por equipo. Estas acciones están representadas en la *tabla 16*.

Tabla 16

Acciones propuesta a implementar en base a valores de KPI obtenidos por equipo

Equipo	MTBF (horas)	MTRR (horas)	Disponibilidad Operativa	Acción propuesta
VH-01	232	2.5	98.92%	Fortalecer mantenimiento preventivo.
VH-08	232	7.5	96.77%	Crear un estándar de reparación de fallas recurrentes. Definir componentes críticos.
CQ-09	≥464	-	99.35%	Mantener estrategia actual de mantenimiento. Implementar monitoreo periódico del desempeño.
CQ-15	≥464	-	99.50%	Mantener estrategia actual de mantenimiento. Considerar mantenimiento predictivo.
CQ-01	464	1.8	99.61%	Estandarizar y documentar el proceso ejecutado.
CQ-02	464	1.5	99.68%	Mantener estrategia actual de mantenimiento.
CQ-04	116	3.5625	98.92%	Reclasificar equipo como crítico. Implementar Análisis de Causa Raíz (RCA). Fortalece mantenimiento preventivo.
CQ-12	464	1.5	99.68%	Mantener la estrategia actual. Optimizar planificación de mantenimiento.
CQ-08	≥464	-	99.25%	Mantener estrategia actual de mantenimiento. Implementar monitoreo periódico del desempeño.
CQ-05	≥464	-	99.35%	Mantener estrategia actual de mantenimiento. Considerar mantenimiento predictivo basado en condición.
CQ-06	232	2.75	99.35%	Implementar Análisis de Causa Raíz (RCA). Fortalecer mantenimiento preventivo.
VH-ICE	232	3.5	98.49%	Fortalecer mantenimiento preventivo.
XW-01	≥232	-	98.71%	Fortalecer mantenimiento preventivo.
MP-01	≥348	-	99.14%	Mantener estrategia actual.
MQ-03	232	4	98.28%	Fortalecer mantenimiento preventivo.
Q-05	232	4.2	98.19%	Fortalecer mantenimiento preventivo.
Q-04	464	5.5	98.81%	Crear un estándar de reparación de falla recurrente. Definir componentes críticos.
FL-04	290	50.5	82.59%	Reclasificar equipo como crítico. Crear un estándar de reparación de falla recurrente. Definir componentes críticos.
F-27	≥367	-	99.48%	Mantener estrategia actual de mantenimiento. Implementar monitoreo periódico del desempeño.
F-32	≥367	-	99.55%	Mantener estrategia actual de mantenimiento. Estandarizar plan preventivo.
F-36	≥367	-	99.55%	Mantener estrategia actual de mantenimiento. Estandarizar plan preventivo.
F-26	≥367	-	99.55%	Mantener estrategia actual de mantenimiento. Estandarizar plan preventivo.
F-06	≥367	-	99.48%	Mantener estrategia actual de mantenimiento. Implementar monitoreo periódico del desempeño.
F-25	≥367	-	99.55%	Mantener estrategia actual de mantenimiento. Estandarizar plan preventivo.
F-15	≥367	-	99.55%	Mantener estrategia actual de mantenimiento. Estandarizar plan preventivo.
Q-02	464	2	99.57%	Mantener la estrategia actual. Optimizar planificación de mantenimiento.

- Realizar una nueva clasificación de la criticidad de los equipos en base a valores de Indicadores Clave de Desempeño (KPI), combinando un bajo MTBF, un alto MTTR y una baja disponibilidad. Bajo este enfoque se detectó dos equipos con estas características: el cargador frontal FL-04 y la grúa celosía CQ-04. Para ello se promueve realizar una matriz de criticidad y definir estos equipos como prioridad A.
- Implementar un análisis de causa raíz (RCA) en equipos con MTBF. Esto se enfocará en los equipos de alta frecuencia de fallas. En esta categoría se incluyen a los equipos CQ-04 y CQ-06.
- Evaluar la posibilidad de implementar mantenimiento predictivo a aquellos equipos que presente disponibilidad operativa alta y elevados valores de MTBF, con el fin de anticipar posibles fallas.
- Enfocar el sistema en una optimización del proceso correctivo. Con ello se busca obtener valores de MTTR menores en equipos como VH-08, Q-04 y FL-04. Para ello se propone crear estándares de reparación para fallas recurrentes y definir componente críticos en estos equipos para su obtención previa a la presencia de la falla.
- Fortalecer el mantenimiento preventivo en equipos con valores MTBF bajos. Se propone modificar frecuencias preventivas en equipos con historial negativo.
- Generar estándares de procedimientos de mantenimiento en base a los óptimos valores de KPI obtenidos en equipos, con el objetivo de mejorar la confiabilidad del sistema y optimizar la disponibilidad operativa del conjunto de equipos.

Conclusiones

El objetivo general del presente trabajo fue alcanzado, al diseñarse y validarse una propuesta de implementación de Indicadores Claves de Desempeño (KPI) aplicada a la gestión del mantenimiento de equipos del proyecto de construcción del Nuevo Muelle de San Nicolás. La solución planteada permitió estructurar el registro de información, medir objetivamente el desempeño del mantenimiento y orientar la toma de decisiones técnicas hacia la mejora continua del sistema.

Los resultados obtenidos de los valores calculados de los indicadores clave de desempeño MTBF, MTTR y Disponibilidad Operativa permitieron desarrollar un proceso de mantenimiento bajo un enfoque orientado a resultados y una toma de decisiones basada en datos. Los indicadores seleccionados facilitaron la identificación de equipos críticos, la priorización de intervenciones a aplicar a futuro a los equipos críticos y la evaluación objetiva del desempeño del mantenimiento.

Durante el desarrollo del trabajo de investigación se determinó que las principales dificultades presentes en el proceso de mantenimiento de los generadores eléctricos fueron la detección inadecuada de las fallas ocurridas y la falta de información histórica de registros de servicios aplicados para un análisis técnico adecuado. Aún con estas deficiencias, los valores de las métricas calculadas para esta familia de equipos fueron favorables durante el periodo de evaluación, ya que ninguno de los equipos de esta familia presentó fallas y se obtuvieron valores de Disponibilidad Operativa por encima del 99%. Lo que sugiere que el sistema de mantenimiento aplicado a esta familia de equipos es óptimo.

De los resultados obtenidos de la implementación de la Orden de Trabajo digital se concluye que esta herramienta ofrece una mejora significativa en la gestión del mantenimiento, ya que permitió registrar de manera estructurada las actividades ejecutadas, determinar correctamente el control del tiempo utilizado para cada intervención y un mejor registro de los recursos utilizados para cada servicio. Además, ofrece un adecuado registro de los tiempos requeridos por servicio, las fallas presentadas, así como las actividades ejecutadas, información de gran importancia para el cálculo de los indicadores MTBF, MTTR y Disponibilidad Operativa.

La OT digital implementada además permitió identificar equipos con alta frecuencia de fallas, repuestos necesarios para la pronta puesta en marcha de los equipos con fallas, lo que facilita la priorización de acciones a mejorar. Esta ventaja permite enfocar de mejor manera los recursos del área de mantenimiento en los equipos con mayor impacto operativo.

En conjunto, el cumplimiento de los objetivos específicos permitió demostrar que la implementación de herramientas basadas en indicadores y la estandarización de procesos mediante una Orden de Trabajo digital generan un impacto positivo y medible en el desempeño del mantenimiento. Estos resultados confirman que una gestión estructurada,

soportada en información confiable y orientada a KPI, es fundamental para mejorar la eficiencia operativa, optimizar los recursos disponibles y fortalecer la toma de decisiones en el área de mantenimiento.

Finalmente, los resultados obtenidos demuestran que una gestión de mantenimiento estructurada, basada en información confiable y apoyada en Indicadores Clave de Desempeño (KPI), constituye una herramienta fundamental para mejorar la eficiencia operativa en proyectos de construcción. El enfoque desarrollado en esta tesis es técnica y económicamente viable, replicable en proyectos de características similares y representa un aporte práctico a la gestión del mantenimiento de equipos en el sector construcción.



Recomendaciones

Se recomienda realizar el cálculo de los valores de los indicadores de forma periódica, con el fin de generar un historial del progreso del sistema de mantenimiento ejecutado, lo cual permitirá analizar tendencias, identificar cambio en el desempeño y evaluar la efectividad de las estrategias implementadas. Con ello se busca facilitar la toma de decisiones basándose en datos objetivos y oportunos.

Con el fin de mejorar la gestión de los repuestos se recomienda iniciar con el inventario de los materiales presentes en los almacenes del taller mecánico y realizar una revisión periódica del mismo. También se recomienda registrar la salida de los materiales mediante la información obtenida por la Orden de Trabajo implementada.

Una vez que se haya consolidado la carga de los datos, se sugiere complementar al sistema con otros KPI, como lo son el Índice de Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo y la Confiabilidad.

Se recomienda complementar el sistema de mantenimiento mediante la implementación de nuevas metodologías, como es el Análisis de Causa Raíz (RCA), que permite identificar la causa fundamental de los problemas, fallas o eventos no deseados, con el objetivo de evitar que vuelvan a ocurrir.

Se recomienda expandir el rango de análisis del sistema de mantenimiento, analizando factores como los costos directos e indirectos de los mantenimientos preventivos y correctivos ejecutados, los costos asociados a paradas no programadas y el impacto económico de la indisponibilidad de los equipos, con el fin de tener una visión integral del diseño del sistema.

Implementar una metodología de identificación y gestión de equipos benchmark basada en el análisis de los indicadores clave de desempeño implementados, que permita establecer equipos de referencia, replicar las buenas prácticas de mantenimiento y orientar la toma de decisiones hacia la mejora continua.

Glosario

Activo: Conjunto de equipos, maquinarias e instalaciones que intervienen directamente en el desarrollo de las operaciones del proyecto y requieren gestión de mantenimiento.

Análisis de fallas recurrentes: Evaluación sistemática de fallas que se presentan de manera repetitiva en los equipos, con el objetivo de identificar causas raíz y proponer acciones correctivas o preventivas.

Código QR (Quick Response): Código bidimensional que permite el acceso rápido a información digital, en este caso al formulario de la Orden de Trabajo, mediante dispositivos móviles.

Costo de Posesión (CP): Costo total en que se incurre por la adquisición de un equipo o maquinaria, independientemente de su operación, incluyendo costos de compra, mantenimiento, almacenamiento y depreciación.

Equipo benchmark: Equipo que presenta el mejor desempeño dentro del sistema de mantenimiento y cuyas prácticas y resultados son utilizados como estándar para la mejora continua de los demás equipos.

Frente de trabajo: Área o sección específica dentro de un proyecto donde se ejecutan actividades constructivas determinadas, sobre la cual se puede analizar la demanda de mantenimiento y recursos.

Horas de mantenimiento: Tiempo total invertido por el personal de mantenimiento en la ejecución de intervenciones correctivas o preventivas sobre un equipo.

Horas de trabajo requerido: Total de horas asignadas a cada equipo para realizar las actividades operativas del proyecto durante un periodo determinado.

Operativo: Estatus de un equipo que se encuentra en condiciones técnicas adecuadas y ejecutando sus actividades sin restricciones que afecten su desempeño.

Personal de mantenimiento: Conjunto de técnicos, mecánicos y supervisores responsables de ejecutar, coordinar y controlar las actividades de mantenimiento en el proyecto.

Repuestos: Componentes, piezas o insumos utilizados para reparar o mantener equipos, cuya disponibilidad impacta directamente en la continuidad operativa.

Stock: Cantidad de repuestos, materiales o insumos disponibles en almacén para el uso en mantenimiento o producción, cuyo control impacta en la eficiencia operativa y la planificación de intervenciones.



Lista de abreviaturas

CCCC:	China Communications Construction Company.
CHEC:	China Harbour Engineering Company.
CM:	Corrective Maintenance (Mantenimiento Correctivo).
CMMS:	Computerized Maintenance Management System (Sistema Computarizado de Gestión del Mantenimiento).
CP:	Costo de Posesión.
EAM:	Enterprise Asset Management (Gestión de Activos Empresariales).
FL:	Cargador frontal (código de identificación de equipo en obra).
IBM:	International Business Machines.
IEEE:	Institute of Electrical and Electronics Engineers.
ISO:	International Organization for Standardization.
KPI:	Key Performance Indicator (Indicador Clave de Rendimiento).
MTBF:	Mean Time Between Failures (Tiempo Medio Entre Fallas).
MTTR :	Mean Time To Repair (Tiempo Medio de Reparación).
OT:	Orden de Trabajo.
OTnS:	Órdenes de Trabajo No Estándar.
Ots:	Órdenes de Trabajo Estándar.
PdM:	Predictive Maintenance (Mantenimiento Predictivo).
PM:	Preventive Maintenance (Mantenimiento Preventivo).
PMC:	Planned Maintenance Compliance (Índice de Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo).
PMP:	Planned Maintenance Percentage (Porcentaje de Mantenimiento Planificado).
QR:	Quick Response (código de respuesta rápida).
RCA:	Root Cause Analysis (Análisis de Causa Raíz).
RBM:	Risk Based Maintenance (Mantenimiento Basado en el Riesgo).
RCM:	Reliability Centered Maintenance (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad).
SAC:	Sociedad Anónima Cerrada.
SIS:	Safety Instrumented Systems (Sistemas Instrumentados de Seguridad).
TBF:	Time Between Failures (Tiempo Entre Fallas).
TPM:	Total Productive Maintenance (Mantenimiento Productivo Total).
UNE:	Asociación Española de Normalización

Referencias

- López, E. (2017). Gestion de Mantenimientos en la nube mediante Google. *Revista Iberoamerica de Producción Académica y Gestion Educativa*.
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2025). *Informe de actualización de proyecciones macroeconómicas 2025-2028*. Lima: Ministerio de Economía y Finanzas.
- Villegas, M. (2024). *Implementación de indicadores de mantenimiento para mejorar el programa de mantenimiento preventivo en la empresas IIRSA Norte S.A.* Piura: UDEP.
- CHEC América. (2025). *CHEC China Harbour*. Obtenido de CHEC China Harbour: <https://www.checamerica.com>
- Gobierno del Perú. (6 de Abril de 2024). *Gobierno del Perú*. Obtenido de Gobierno del Perú: https://www.gob.pe/institucion/produce/noticias/931385-produce-puerto-de-chancay-generara-un-impacto-economico-de-us-4500-millones-anuales-al-pais?utm_source=chatgpt.com
- UNE. (2018). *Proceso de mantenimiento e indicadores asociados*. Madrid: UNE.
- ISO. (2016). *Norma ISO 14224*. ISO.
- Andina. (2 de Julio de 2025). *Andina*. Obtenido de Andina Agencia peruana de noticias: <https://andina.pe/agencia/noticia-capeco-sector-construccion-habria-crecido-36-mayo-impulsado-consumo-cemento-1036111.aspx>
- Cuadros, A. (20 de Mayo de 2025). *La República*. Obtenido de La República: <https://larepublica.pe/economia/2025/05/20/inei-este-el-sector-economico-que-agrupa-la-mayor-cantidad-de-empleo-en-peru-tiene-mas-de-7-millones-de-trabajadores-en-2025-sector-servicios-atmp-1629480>
- Hokama, F. (15 de Agosto de 2025). *RPP*. Obtenido de RPP: <https://rpp.pe/economia/economia/economia-peruana-crece-452-en-junio-2025-manufactura-agro-y-construccion-impulsan-turismo-y-finanzas-retroceden-pbi-inei-noticia-1650714?ref=rpp>
- CHEC. (25 de Septiembre de 2022). *CHEC*. Obtenido de CHEC: <http://www.chec.bj.cn/tabid/67/Default.aspx>
- Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE. (2010). *Recommended practice for the maintenance of industrial and commercial power systems*. IEEE.
- Montilla, C. (2016). *Fundamentos de mantenimiento industrial*. Pereira: UTP (Universidad Tecnológica de Pereira).
- Pistarelli, A. (2010). *Manual de mantenimiento. Ingeniería, gestión y organización*. Buenos Aires.
- Calle, R. A. (2024). *Propuesta de mejora para la gestión del mantenimiento en equipos de perforación diamantina: Aumento de la disponibilidad operativa y reducción del tiempo medio de reparación (MTTR)*. Piura: UDEP.

Gomez, D. (2025). *Propuesta de mejora en la estrategia actual de mantenimiento del sistema de refrigeración en la empresa Pura Fruit Company*. Piura: UDEP.



Apéndice

Apéndice A. Ficha de registro en campo de equipos

<u>Fecha de registro en campo de equipos</u>	
• Tipo de equipo:	_____
• Marca / modelo:	_____
• Código interno/placa:	_____
• Frente de obra / ubicación exacta:	_____
• Estado:	
○ Operativo	[]
○ Operativo con restricciones	[]
○ Inoperativo	[]
• ¿Trabajando al momento de la visita? (Si / No)	
• Operador asignado:	_____
• Fecha y hora de verificación:	_____
• Observaciones:	

Apéndice D. Tabla de cálculo de valores de Indicadores Clave de Desempeño (MTBF, MTTR y Disponibilidad Operativa)

Código	Tipo de equipo	Horas operativas	Horas correctivas	Horas totales de mantenimiento	# Paradas correctivas	MTBF	MTTR	Disponibilidad Operativa
VH-01	Martillo vibrador	232	2.5	2.5	1	232	2.5	98.92%
VH-08	Martillo vibrador	232	7.5	7.5	1	232	7.5	96.77%
CQ-09	Grúa celosía	464	0	3	0	≥464	-	99.35%
CQ-15	Grúa celosía	464	0	2.3	0	≥464	-	99.50%
CQ-01	Grúa celosía	464	1.8	1.8	1	464	1.8	99.61%
CQ-02	Grúa celosía	464	1.5	1.5	1	464	1.5	99.68%
CQ-04	Grúa celosía	464	14.25	5	4	116	3.5625	98.92%
CQ-12	Grúa celosía	464	1.5	1.5	1	464	1.5	99.68%
CQ-08	Grúa celosía	464	0	3.5	0	≥464	-	99.25%
CQ-05	Grúa celosía	464	0	3	0	≥464	-	99.35%
CQ-06	Grúa telescópica	464	5.5	3	2	232	2.75	99.35%
VHICE	Martillo vibrador	232	3.5	3.5	1	232	3.5	98.49%
XW-01	Perforadora	232	3.5	3	0	≥232	-	98.71%
MP-01	Bomba de concreto	348	0	3	0	≥348	-	99.14%
MQ-03	Grúa pórtico	232	4	4	1	232	4	98.28%
Q-05	Grúa telescópica	232	4.2	4.2	1	232	4.2	98.19%
Q-04	Camión grúa	464	5.5	5.5	1	464	5.5	98.81%
FL-04	Cargador frontal	290	50.5	50.5	1	290	50.5	82.59%
F-27	Generador eléctrico	667	0	3.5	0	≥367	-	99.48%
F-32	Generador eléctrico	667	0	3	0	≥367	-	99.55%
F-36	Generador eléctrico	667	0	3	0	≥367	-	99.55%
F-26	Generador eléctrico	667	0	3	0	≥367	-	99.55%
F-06	Generador eléctrico	667	0	3.5	0	≥367	-	99.48%
F-25	Generador eléctrico	667	0	3	0	≥367	-	99.55%
F-15	Generador eléctrico	667	0	3	0	≥367	-	99.55%
Q-02	Camión grúa	464	2	2	1	464	2	99.57%