

NOMBRE DEL TRABAJO

ISP_ARTEAGA 25.05 (3)_20250615.docx

AUTOR

Ali Arteaga Almerco

RECUENTO DE PALABRAS

16977 Words

RECUENTO DE CARACTERES

95547 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

80 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

9.4MB

FECHA DE ENTREGA

Jun 19, 2025 5:12 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jun 19, 2025 5:14 PM GMT-5

● 13% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 11% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 9% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



UNIVERSIDAD PRIVADA NORBERT WIENER

FACULTAD DE INGENIERÍA Y NEGOCIOS

Escuela Académico Profesional de Ingeniería y Negocios

**Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para
mejorar la disponibilidad operativa de los equipos en la empresa
CBELECTRIC INDUSTRIAL SAC, Lima, 2025**

Trabajo de Suficiencia Profesional

**para optar el título profesional en ingeniero industrial y gestión
empresarial**

Estudiante: Arteaga Almerco Alí

Identificador ORCID: 0000-0001-9193-2898

Asesor metodológico: Dr. Flores Zafra, David


Identificador ORCID del asesor: 0000-0001-5846-325X

Asesor metodológico: Mg. Girao Silva, Daves

Identificador ORCID del asesor: 0009-0005-0351-3666

Lima - Perú

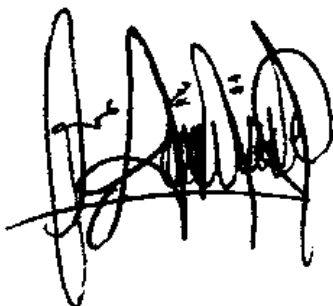
2025

 Universidad Norbert Wiener	DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA Y DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN		
	CÓDIGO: UPNW-GRA-FOR- 000	VERSIÓN: 01 REVISIÓN: 01	FECHA: 25/03/2025

Yo, ALÍ ARTEAGA ALMERCÓ egresado de la Facultad de Ingeniería y Negocios, Escuela Académica Profesional de Negocios de la Universidad privada Norbert Wiener declaro que el trabajo académico “Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para mejorar la disponibilidad operativa de los equipos en la empresa CBELECTRIC INDUSTRIAL SAC, Lima, 2025.” Asesorado por el asesor Daves Girao Silva, DNI 42259042 ORCID: 0009-0005-0351-3666 tiene un índice de similitud de 11 % (once) con código oid: 14912:462150049 verificable en el reporte de originalidad del software Turnitin.

Así mismo:

1. Se ha mencionado todas las fuentes utilizadas, identificando correctamente las citas textuales o paráfrasis provenientes de otras fuentes.
2. No he utilizado ninguna otra fuente distinta de aquella señalada en el trabajo.
3. Se autoriza que el trabajo puede ser revisado en búsqueda de plagios.
4. El porcentaje señalado es el mismo que arrojó al momento de indexar, grabar o hacer el depósito en el Turnitin de la universidad y,
5. Asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión en la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas del reglamento vigente de la universidad.



.....
Firma de autor

Egresado: ALÍ ARTEAGA ALMERCÓ
DNI: 46223024



.....
Firma del Asesor

Asesor: Daves Girao Silva
DNI: 42259042

Dedicatoria

Con gratitud dedico este trabajo que es fruto de perseverancia a mi familia quienes me animaron a seguir adelante incluso cuando los desafíos parecían insuperables, lo que me impulsan a seguir en la lucha por el logro de mis objetivos.

Agradecimiento

Agradezco profundamente el apoyo incondicional de mi familia, en especial de mi madre por ser mi soporte en mis momentos de debilidad, a los maestros por apoyarme en este camino profesional.

Índice general

6	Dedicatoria	2
	Agradecimiento	3
	Resumen	7
	Abstract	8
	Introducción	9
1	CAPÍTULO I: Antecedentes y descripción de la empresa	10
	1.1. Reseña de la empresa	10
	1.2. Ubicación y actividad empresarial	12
	1.3. Misión, visión y valores de la empresa	14
	1.4. Descripción del puesto desarrollado y su entorno	15
	1.5. Problemática y objetivos trazados	16
	CAPÍTULO II: Fundamento del tema elegido	20
	1.1. Bases teóricas	20
	1.2. Marco conceptual	35
	1.3. Antecedentes	38
	1.4. Justificación de la metodología elegida	41
	CAPÍTULO III: Aporte y desarrollo de la experiencia	42
	2.1. Diagnóstico de la situación problemática	42
	2.2. Desarrollo de la experiencia	48
	2.3. Resultados	64
	Conclusiones	70
	Recomendaciones	71
	Referencias	72
	Anexos	77

Tabla 1 Información general de la empresa.....	10
Tabla 2 Datos de disponibilidad (previo)	44
Tabla 3 Cronograma de implementación de propuesta	49
Tabla 4 Análisis modal de fallas y efectos	50
Tabla 5 Datos de disponibilidad (posterior)	64
Tabla 6 Análisis comparativo de indicadores.....	68

1 Índice de figuras

Figura 1 Logo de la empresa	11
Figura 2 Principales clientes de la empresa.....	12
Figura 3 Ubicación de la empresa	12
Figura 4 Principales servicios de la empresa.....	13
Figura 5 Organigrama de la empresa.....	16
Figura 6 Pasos para la aplicación de la metodología RCM.....	21
Figura 7 Diagrama de causa – efecto de la problemática de baja disponibilidad.....	43
Figura 8 Evolución del tiempo medio entre fallas (previo).....	45
Figura 9 Evolución del tiempo medio para reparaciones (previo)	46
Figura 10 Evolución de la disponibilidad (previo).....	47
Figura 11 Análisis modal de fallas y efectos.....	50
Figura 12 Ficha AMEF.....	51
Figura 13 Hoja de decisión RCM.....	52
Figura 14 Hoja de registro de mantenimiento	53
Figura 15 Programa de mantenimiento preventivo	54
Figura 16 Programa de mantenimiento correctivo	55
Figura 17 Diagrama de operaciones del proceso de mantenimiento de motor.....	56
Figura 18 Diagrama de operaciones del proceso de mantenimiento de sistema eléctrico ..	57
Figura 19 Plan de trabajo de mantenimiento de equipo	58
Figura 20 Ficha técnica de equipo.....	59
Figura 21 Cronograma de auditoria.....	61
Figura 22 Formato de supervisión de mantenimiento	62
Figura 23 Formato de protocolo de pruebas.....	63
Figura 24 Evolución del tiempo medio entre fallas (posterior).....	65
Figura 25 Evolución del tiempo medio para reparaciones (posterior)	66
Figura 26 Evolución de la disponibilidad (posterior).....	67
Figura 27 Análisis comparativo de disponibilidad.....	69

El presente trabajo de suficiencia profesional se realizó con el objetivo de incrementar la disponibilidad de equipos a través de la implementación de la metodología RCM en la empresa CBELECTRIC INDUSTRIAL SAC, Lima, 2025. En este sentido, la experiencia profesional del RCM se formuló bajo cuatro fases para la gestión del mantenimiento de 12 transformadores eléctricos; en primer lugar, se realizó el análisis modal de fallas y efectos para determinar las acciones pertinentes; en segundo lugar, se desarrollaron formatos y fichas para el mantenimiento centrado en la confiabilidad; en tercer lugar, se generaron diagramas de operaciones de mantenimiento y un plan de trabajo y; en cuarto lugar, se presentó la supervisión de operaciones de mantenimiento. El análisis comparativo evidenció un incremento de la disponibilidad en promedio desde 91.3% a 96.6%, es decir, un 5.3% más, lo cual se debe a un incremento del MTBF de 59.8 a 108.8 horas y una reducción del MTTR de 5.61 a 3.41 horas; asimismo, la cantidad de fallos se redujo de 84.3 a 53.1 en promedio. Por lo tanto, se concluye que la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RMC) incrementó la disponibilidad de equipos en la empresa CBELECTRIC INDUSTRIAL SAC.

Palabras claves: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, transformadores eléctricos, disponibilidad, MTBF, MTTR.

Abstract

This professional sufficiency work was carried out with the aim of increasing the availability of equipment through the implementation of the RCM methodology in the company CBELECTRIC INDUSTRIAL SAC, Lima, 2025. In this sense, the professional experience of the RCM was formulated under four phases for the maintenance management of 12 electrical transformers; first, the modal analysis of failures and effects was carried out to determine the pertinent actions; second, formats and sheets were developed for reliability-centered maintenance; third, maintenance operations diagrams and a work plan were generated and; fourth, the supervision of maintenance operations was presented. The comparative analysis shows an increase in availability on average from 91.3% to 96.6%, that is, 5.3% more, which is due to an increase in the MTBF from 59.8 to 108.8 hours and a reduction in the MTTR from 5.61 to 3.41 hours; Likewise, the number of failures was reduced from 84.3 to 53.1 on average. Therefore, it is concluded that the Reliability Centered Maintenance (RCM) methodology increased the availability of equipment at the company CBELECTRIC INDUSTRIAL SAC.

Keywords: Reliability Centered Maintenance, electrical transformers, availability, MTBF, MTTR.

Introducción

El presente trabajo de suficiencia profesional, cuyo título es el siguiente “Aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) para Mejorar la Disponibilidad Operativa de los Equipos en la Empresa CBELECTRIC INDUSTRIAL SAC, Lima, 2025”, establece como su objetivo principal el implementar una estrategia de mantenimiento que se basa en la aplicación de la metodología RCM con el fin de optimizar la confiabilidad y disponibilidad de los transformadores, equipos importantes para realizar las actividades cotidianas de la empresa. El trabajo se divide en tres capítulos, de los cuales cada uno cuenta con un enfoque particular para abordar la problemática y proponer soluciones efectivas. En el Capítulo I: Antecedentes y descripción de la empresa, se presenta una reseña histórica de la empresa CBELECTRIC INDUSTRIAL SAC, en donde se brindan detalles tales como su ubicación, actividad empresarial y valores con los que se manejan.

En el Capítulo II: Fundamento del tema elegido, se desarrolla tanto el marco teórico como el conceptual bajo el que se sustenta la metodología RCM. En el Capítulo III: Aporte y desarrollo de la experiencia, se realiza un diagnóstico detallado de la situación problemática. Luego, se describe el desarrollo de la experiencia a través del detalle de las actividades que se realizaron para la implementación de la metodología RCM, tales como la elaboración de planes de mantenimiento, ejecución de pruebas y capacitación laboral. Finalmente, se culmina con la presentación de los resultados obtenidos, evidenciando la mejora en la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, así como la reducción de costos relacionados con las paradas no programadas.

El trabajo acaba con las Conclusiones, en donde se resumen los hallazgos más importantes y cómo impactan en la operatividad de la empresa, así como las Recomendaciones, en donde se proponen acciones futuras que busquen mejorar aún más los resultados alcanzados. Además, se incluyen las Referencias bibliográficas utilizadas y los Anexos, que complementan la información presentada con documentos técnicos, formatos y registros utilizados durante la implementación del RCM.

CAPÍTULO I: Antecedentes y descripción de la empresa

1.1. Reseña de la empresa

La empresa CBELECTRIC INDUSTRIAL S.A.C. empezó a desarrollar sus actividades el 30 de abril del año 2021 en un local ubicado en Mz. K11 Lote 23, Urbanización Mariscal Andrés A. Cáceres perteneciente al distrito de San Juan de Lurigancho, Lima, Perú. En la actualidad labora siguiendo el régimen tributario de MYPE. CBELECTRIC INDUSTRIAL S.A.C. es una empresa insertada en el rubro de las instalaciones eléctricas, y es conocida por afrontar sus proyectos con un fuerte compromiso por la calidad, seguridad y eficiencia. Tiene como enfoque central la oferta de soluciones integrales dirigidas a instalaciones eléctricas industriales, comerciales y residenciales. La síntesis de la información general de la empresa se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1

Información general de la empresa

Ítem	Descripción
RUC	20607248461
Razón Social	CBELECTRIC INDUSTRIAL S.A.C.
Actividades Económicas	Principal: CIU 4321 - Instalaciones eléctricas Secundaria: CIU 4329 - Otras instalaciones para obras de construcción
Ubicación	Mza. K11 Lote 23, Urbanización Mariscal Andrés A. Cáceres – SJL
Contacto	928 320 743

Nota. Información proporcionada por la empresa

CBELETRIC también se caracteriza por estar altamente capacidad a nivel técnico, que se sustenta en el equipo con el que trabaja y el uso de tecnologías modernas que cumplen con los estándares internacionales. Asimismo, también garantiza que durante el desarrollo de sus proyectos se cumpla con un alto nivel de seguridad.

Por otro lado, se puede destacar su capacidad de adaptación a las necesidades de cada cliente, a través de la oferta de diferentes servicios personalizados a través de los cuales se logra una reducción de los costos. De esta manera, ha logrado un posicionamiento alto dentro del mercado, consolidándose como un socio estratégico confiable dentro del mercado eléctrico en el Perú. El logo de la empresa se indica en la Figura 1

Figura 1

Logo de la empresa



Nota. Información proporcionada por la empresa

Clientes principales:

CBELECTRIC INDUSTRIAL S.A.C. se destaca por atender a una amplia gama de clientes en los sectores industrial, comercial y residencial. Entre sus principales clientes se encuentran empresas manufactureras, industrias mineras, constructoras, centros comerciales, hospitales, entidades gubernamentales y proyectos residenciales de gran envergadura. Su enfoque especializado permite atender las necesidades de plantas industriales que requieren instalaciones eléctricas de alta complejidad, así como proyectos comerciales que demandan soluciones eficientes y seguras. Asimismo, colabora con empresas constructoras en la electrificación integral de proyectos inmobiliarios y con entidades públicas en obras de infraestructura, debido a su experiencia y adaptabilidad. Los principales clientes se presentan en la Figura 2.

Figura 2

Principales clientes de la empresa



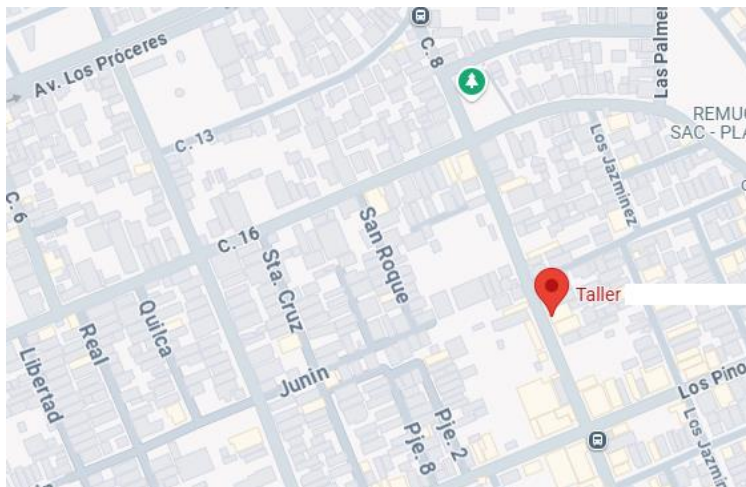
Nota. Información proporcionada por la empresa

1.2. Ubicación y actividad empresarial

El domicilio fiscal corresponde a Mz. K11 Lote 23, Urbanización Mariscal Andrés A. Cáceres en el distrito de San Juan de Lurigancho en Lima, Perú y para conocer mejor su ubicación se presenta el siguiente mapa en la Figura 3.

Figura 3

Ubicación de la empresa



Nota. Extraído de Google Maps (2024)

Actividad empresarial

La principal actividad de la empresa corresponde a las instalaciones eléctricas, dedicada a los servicios de instalaciones eléctricas de baja tensión (BT), Media Tención (MT) y

subestaciones eléctricas y se cuenta con personal altamente capacitado y la tecnología adecuada para el diseño y fabricación. En este sentido, los servicios más importantes incluyen:

- Instalaciones eléctricas en Baja Tensión (BT) Diseño, montaje y mantenimiento de sistemas eléctricos para proyectos residenciales, comerciales e industriales.
- Instalaciones eléctricas en Media Tensión (MT) Implementación de redes eléctricas para industrias y grandes infraestructuras, cumpliendo con normativas técnicas y de seguridad.
- Diseño y construcción de subestaciones eléctricas.
- Sistemas de iluminación industrial y comercial, eficiente para maximizar el ahorro energético.
- Mantenimiento eléctrico preventivo y correctivo, diagnóstico y solución de fallas para optimizar el rendimiento de los sistemas eléctricos.
- Montaje de tableros eléctricos, fabricación e instalación de tableros de control
- Integración de soluciones para optimizar el consumo energético y promover el uso de energías limpias.

Figura 4

Principales servicios de la empresa



Nota. Información proporcionada por la empresa

1.3. Misión, visión y valores de la empresa

Misión: Proporcionar servicios de instalaciones eléctricas de alta calidad en Baja y Media Tensión, así como en subestaciones eléctricas, garantizando seguridad, eficiencia y satisfacción al cliente, en tanto que se dedica a diseñar y ejecutar soluciones adaptadas a las necesidades específicas de cada proyecto, con un enfoque en la innovación y el uso responsable de los recursos energéticos.

Visión: Ser reconocida como una empresa líder en el sector de instalaciones eléctricas en Perú, destacándose por su compromiso con la innovación, calidad y sostenibilidad. Asimismo, busca volverse un socio estratégico de confianza para los clientes con los que trabaja a través de soluciones personalizadas que contribuyan al desarrollo eficiente y medioambiental de sus proyectos eléctricos.

Valores

- **Compromiso por calidad:** Garantiza que los servicios que se brindan cumplan con elevados estándares tanto técnicos como de seguridad.
- **Responsabilidad:** Incentivar el uso óptimo de los recursos en los proyectos en los que se embarca.
- **Innovación:** Utilizar tecnologías y procesos modernos en las soluciones que se brindan a los clientes.
- **Trabajo en equipo:** Valorar tanto el trabajo colaborativo como el respeto entre empleados, colaboradores y clientes.
- **Orientación al cliente:** Priorizar las necesidades del cliente y buscar siempre su satisfacción total.
- **Ética profesional:** Cumplir con estándares éticos y asegurar siempre que el trabajo se realiza con transparencia e integridad en cada proyecto.
- **Seguridad:** Promover entornos de trabajo que sean seguros para todos los trabajadores.

1.4. Descripción del puesto desarrollado y su entorno

El puesto en el que se desarrolló fue el de Técnico en Ingeniería de Mantenimiento de Equipos, el cual tuvo una importante función dentro del funcionamiento adecuado de los equipos en instalaciones industriales, comerciales o residenciales. Se realizaron diversos tipos de mantenimiento, dentro de los cuales están el preventivo, correctivo y predictivo, con lo cual se buscaba el funcionamiento adecuado de los equipos y la prevención de fallos catastróficos. Entre las responsabilidades principales estuvo la inspección periódica de los sistemas eléctricos, identificación de averías y ejecución de reparaciones. Asimismo, se realizaron ajustes técnicos con el fin de mejorar el rendimiento de los equipos y se redactaron informes detallados sobre su estado con lo cual se aseguraba el cumplimiento de las especificaciones técnicas y de seguridad. En la experiencia profesional se aplicaron conocimientos sólidos tanto en mecánica como en electricidad y electrónica, interpretar manuales técnicos, y mantener las operaciones en funcionamiento.

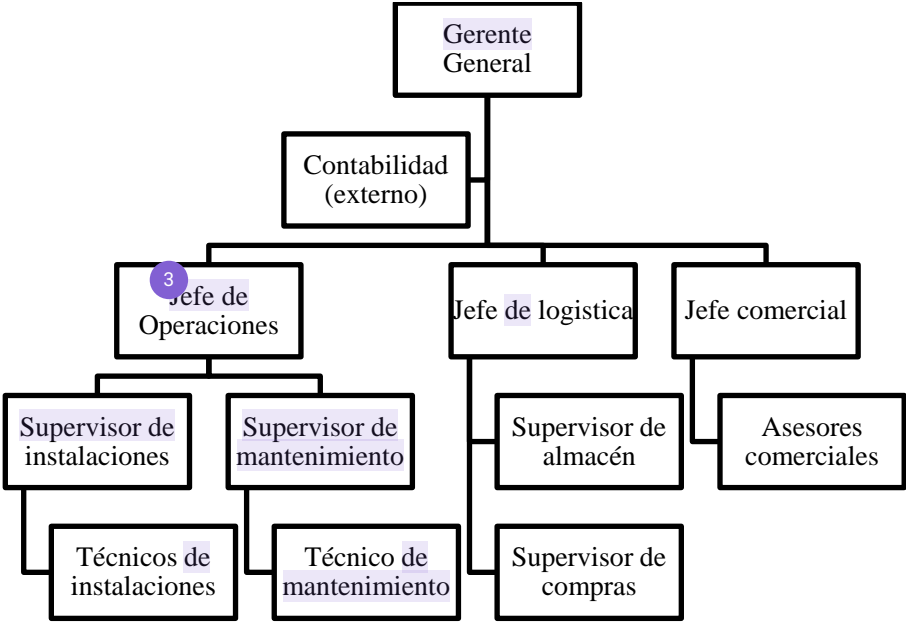
El análisis sobre el entorno competitivo en el que se desenvuelven las empresas de instalaciones eléctricas resalta que es un mercado dinámico y cambiante. Así, se puede dividir a las empresas rivales en dos categorías: las grandes corporaciones que cuentan con gran cantidad de recursos tecnológicos y pequeñas o medianas empresas que actúan en nichos más particulares.

En el lado de las grandes empresas, resaltan sobre todo las que ofrecen servicios integrales, es decir que abarcan desde el diseño y construcción de instalaciones eléctricas hasta el mantenimiento de estas, incluyendo también subestaciones eléctricas. Este tipo de empresas suelen competir utilizando tecnologías más actualizadas, con estándares y certificaciones internacionales, e implementando proyectos de gran extensión. Por el otro lado, las pequeñas y medianas empresas centran su labora en la personalización de sus servicios, de forma que así se puedan adaptar a las necesidades de cada cliente con los que trabajen; sin embargo, una dificultad existente se encuentra con los recursos y capacidad técnica limitados que tienen en comparación a sus pares más grandes. En el entorno existen factores clave como la innovación tecnológica, la experiencia comprobada, la seguridad y la

sostenibilidad energética son determinantes para diferenciarse. Las empresas con capacidad de adaptación y enfoque en la satisfacción del cliente logran mantenerse competitivas, destacándose en un sector que demanda excelencia operativa y cumplimiento de normativas.

Respecto a la organización, la empresa cuenta con 40 trabajadores y a fin de aclarar la estructura jerárquica se presenta el siguiente organigrama en la Figura 5.

Figura 5
Organigrama de la empresa



Nota. Información proporcionada por la empresa

1.5. Problemática y objetivos trazados

En el contexto internacional, la realidad problemática de la disponibilidad operativa de los transformadores eléctricos y equipos industriales representa un desafío crítico para los sectores productivos, energéticos y de infraestructura. La creciente demanda de energía eléctrica, impulsada por el desarrollo industrial, la urbanización y la digitalización de los procesos, ha incrementado significativamente la presión sobre la confiabilidad y disponibilidad de estos equipos. Sin embargo, diversos estudios evidencian que, en muchas regiones, especialmente en economías emergentes, la disponibilidad de transformadores

eléctricos y equipos industriales se ve comprometida debido a fallas no planificadas, mantenimientos correctivos ineficientes y la falta de estrategias sistemáticas de mantenimiento predictivo y proactivo (Akpan et al. 2023).

Asimismo, la globalización de las cadenas de suministro ha generado una mayor complejidad en el acceso a repuestos especializados y personal capacitado, lo que retrasa las acciones correctivas y agrava la indisponibilidad de los equipos. En regiones con infraestructura energética obsoleta o sobreexplotada, como algunos países de Asia, África y América Latina, esta situación se intensifica debido a presupuestos limitados, inadecuada planificación de mantenimiento y deficiente análisis de modos de falla. La falta de procedimientos basados en metodologías como el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) conduce a un uso ineficiente de los recursos técnicos y económicos, lo que impacta directamente en la productividad y la seguridad operativa de las empresas. (Jakkula et al., 2022)

Ante este panorama, las empresas de clase mundial han adoptado metodologías avanzadas de mantenimiento como el RCM para optimizar la gestión de activos y asegurar la alta disponibilidad de equipos estratégicos, permitiendo una mejor previsión de fallos, reducción de costos operativos y mejora continua de la confiabilidad. Sin embargo, la implementación efectiva de estas metodologías aún enfrenta barreras en términos de cultura organizacional, inversión tecnológica y desarrollo de competencias técnicas en diversos contextos internacionales. (Szkoda et al., 2021)

En el contexto nacional, la realidad problemática de la disponibilidad operativa de los transformadores eléctricos y equipos industriales constituye un factor crítico para la sostenibilidad y competitividad de las empresas peruanas, especialmente aquellas vinculadas al sector industrial, manufacturero y de servicios eléctricos. En el Perú, las fallas no planificadas en equipos eléctricos son una de las principales causas de interrupciones operativas, lo que genera pérdidas económicas, reducción de la productividad y afectación en la continuidad del servicio eléctrico. Uno de los problemas recurrentes es la dependencia de mantenimientos correctivos y rutinarios basados en calendarios fijos, sin un análisis

técnico profundo de las condiciones reales de operación de los equipos (Guerrero et al., 2021).

9
24 Esta situación se agrava por la falta de implementación de metodologías como el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), que permitiría evaluar de manera sistemática las funciones críticas, modos de falla y consecuencias de cada equipo. Adicionalmente, en muchas empresas peruanas existe una limitada cultura de mantenimiento preventivo y predictivo, así como restricciones presupuestarias que limitan la adquisición de tecnología de monitoreo y diagnóstico avanzado. Estos factores generan una baja disponibilidad operativa y aumentan la vulnerabilidad de los sistemas eléctricos ante fallos imprevistos. En este contexto, la aplicación de estrategias como el RCM se convierte en una oportunidad clave para mejorar la gestión de activos industriales, optimizar recursos y asegurar la continuidad operativa de las organizaciones a nivel nacional (Uribe et al., 2020).

En la experiencia profesional en las operaciones de la empresa CBELECTRIC INDUSTRIAL SAC se evidenció una problemática relacionada a la baja disponibilidad de equipos en el sector de instalaciones eléctricas representa una problemática significativa que afecta directamente la productividad y la eficiencia de las operaciones. Esta situación suele originarse por diversos factores, como un mantenimiento deficiente, la falta de planificación adecuada, el envejecimiento de los equipos y la demora en el suministro de repuestos. En muchos casos, el mantenimiento preventivo no se realiza de manera regular, lo que incrementa la probabilidad de fallas inesperadas. Además, la ausencia de sistemas de monitoreo predictivo dificulta identificar problemas potenciales antes de que se conviertan en averías críticas. Estas interrupciones generan paradas no programadas que impactan los plazos de entrega de los proyectos y aumentan los costos operativos.

Otro aspecto clave es la dependencia de repuestos y componentes importados, que pueden sufrir demoras por problemas logísticos o restricciones en las cadenas de suministro globales. Asimismo, el envejecimiento de los equipos en uso limita su rendimiento y aumenta las tasas de fallos. En el sector de instalaciones eléctricas, esta problemática no solo afecta la rentabilidad, sino también la confianza del cliente en la capacidad de las empresas para

cumplir con sus compromisos. Abordar este desafío requiere un enfoque integral en mantenimiento, modernización tecnológica y gestión eficiente de recursos.

¹ A continuación, se procede a formular los problemas del presente informe, lo que colaboró en aterrizar de manera efectiva en la evaluación de la suficiencia profesional.

Problema general

¹¹ ¿Cómo la Metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad mejora la disponibilidad de equipos en una empresa de servicios, Lima 2025?

Problemas específicos

- ¿Cómo diagnosticar la situación inicial de la disponibilidad de equipos en una empresa de servicios?
- ¿Cómo diseñar y ejecutar un plan para la aplicación de la metodología del RCM?
- ¿Cómo determinar resultados con relación a la ¹⁰ disponibilidad de equipos luego de la implementación de la propuesta en base al RCM?

Asimismo, en base a afrontar la situación planteada, se mencionan los siguientes objetivos, tanto a nivel general como específicos.

Objetivo general

² Implementar la Metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de equipos en una empresa de servicios, Lima 2025.

Objetivos específicos

- Diagnosticar la situación inicial de la disponibilidad de equipos
- Diseñar y ejecutar un plan para la aplicación de la metodología del RCM
- Determinar los resultados con relación a la ¹⁰ disponibilidad de equipos luego de la implementación de la propuesta en base al RCM.

19 **CAPÍTULO II: Fundamento del tema elegido**

1.1. Bases teóricas

En el presente informe de suficiencia profesional se consideraron teorías para sustentar la gestión del mantenimiento RCM en el incremento de la disponibilidad y el detalle de cada una se menciona a continuación

1.1.1. Variable 1: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

Teoría 3. La Pirámide de Confiabilidad

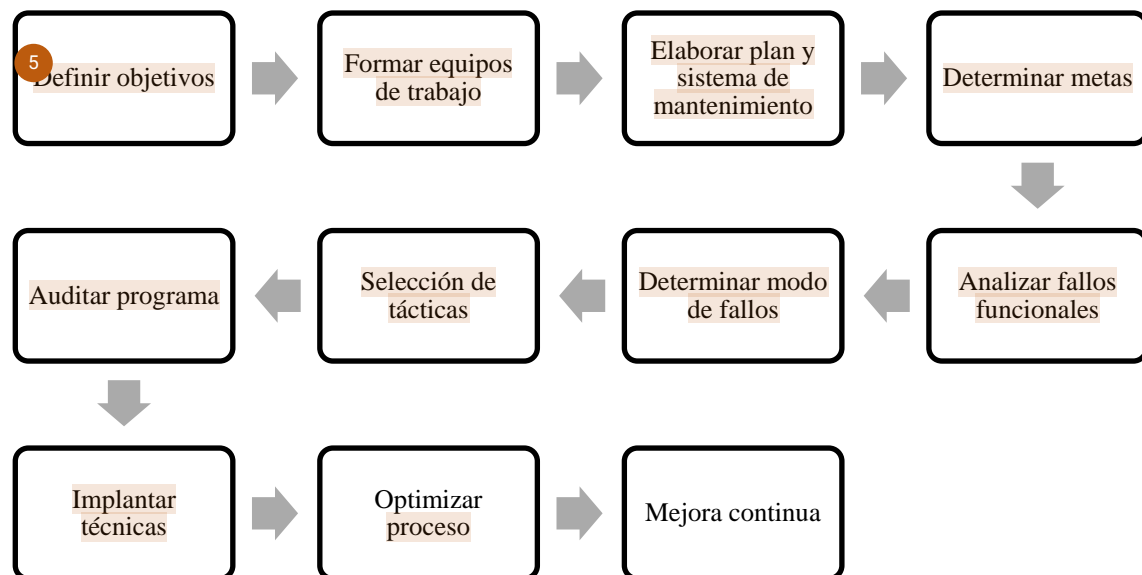
Acuña (2022) señala que, el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) tiene un vínculo con la teoría de la Pirámide de Confiabilidad, en donde se detallan ciertos fundamentos operativos en el inicio de la pirámide. Estos fundamentos señalan ciertos puntos importantes para una correcta operatividad de los equipos, tales como el correcto diseño, materiales de buena calidad, personal con conocimientos en mantenimiento y despliegue de procedimientos estándar. La carencia de correctos fundamentos básicos reduce la efectividad que pueda tener el RCM al aplicar estrategias de mantenimiento, de modo que resulta importante garantizar un diseño adecuado en los equipos con el fin de minimizar la probabilidad de ocurrencia de fallas.

Yang et al. (2022) señalan sobre el RCM, en el contexto de la teoría de la Pirámide de Confiabilidad, que el mantenimiento preventivo se encuentra en la estructura intermedia como un pilar dentro de este enfoque. El mantenimiento preventivo incluye diversas tareas como inspección, reemplazo de componentes o ajustes en los mismos con el fin de evitar que fallen. Así se minimizan las posibles fallas tanto funcionales como potenciales, apoyándose del uso de herramientas como el análisis FMEA que clasifica los componentes según su criticidad. De esta manera, se tiene al mantenimiento preventivo como un complemento a la base de la pirámide, y que conecta a su vez con la siguiente etapa que representa el mantenimiento predictivo.

Seguindo a González y Fuentes (2021), mencionan al RCM como una metodología que también proporciona diversos instrumentos para trabajar cada falla según el caso. De este modo, en el caso de fallas detectadas previamente, pueden prevenirse y se aplican estrategias de mantenimiento preventivo, proactivo o predictivo que incluyen inspecciones, monitoreo, análisis de datos o termografía; mientras que en el caso de fallas no detectadas y no puedan prevenirse, se destinaran estrategias de mantenimiento correctivo que reduzcan las consecuencias de la falla en el proceso de operación. Asimismo, en el caso de que el impacto que tenga una falla en los equipos sea irrelevante, se tomarán decisiones para el uso óptimo de los recursos destinados al mantenimiento. Los pasos para la aplicación de la metodología RCM se presenta en la Figura 5

Figura 6

Pasos para la aplicación de la metodología RCM



Nota. Adaptado de Gonzales y Fuentes (2021)

Zakikhani et al. (2020) describen que la teoría de la Pirámide de Confiabilidad muestra cómo un sistema se compone de múltiples niveles. Así, el funcionamiento adecuado de un equipo o activo depende del correcto funcionamiento de estos niveles, mientras que el mantenimiento resulta un complemento. A continuación, se presentan algunos de los niveles de la confiabilidad:

- **Diseño Confiable:** La confiabilidad comienza con un diseño robusto y adecuado para la función que se desea cumplir. Esto implica seleccionar materiales, tecnologías y configuraciones que minimicen las probabilidades de falla durante el ciclo de vida.
- **Operación Eficiente:** Incluso el diseño más confiable puede fallar si el equipo no se opera correctamente. Es crucial capacitar al personal y establecer procedimientos operativos estándar que eviten el uso indebido de los equipos.
- **Mantenimiento Proactivo:** Incluye estrategias como el mantenimiento predictivo y preventivo para abordar problemas antes de que se conviertan en fallas funcionales. Esto reduce el impacto en la producción y prolonga la vida útil del activo.
- **Análisis de Datos y Mejora Continua:** El monitoreo constante del desempeño del equipo mediante indicadores clave de mantenimiento permite identificar áreas de mejora y ajustar las estrategias de mantenimiento de forma dinámica.

Campos et al. (2019) señalan que, la teoría del RCM se originó dentro de la industria aeronáutica en el siglo XX, en donde se prescindía de una alta confiabilidad en el funcionamiento de las aeronaves. A partir de ahí, el RCM se aplicó en distintos sectores como minería, transporte, manufactura, etc. en donde es imprescindible la confiabilidad en los equipos para garantizar un buen rendimiento y competitividad. La consolidación de la base de la pirámide de confiabilidad permite que se reduzca la posibilidad de fallas a través del RCM, con lo cual se logra el objetivo de incrementar la confiabilidad.

Akpan et al. (2023) señalan que la Pirámide de Confiabilidad toma al mantenimiento predictivo como una de las máximas estrategias para respaldar la confiabilidad operativa. Este tipo de mantenimiento se vale de múltiples instrumentos para la identificación de fallas potenciales, tales como monitoreo en tiempo real o el análisis de vibraciones. Así, a través de la implementación de estas se puede reducir los costos y minimizar los tiempos de mantenimiento. Para la garantía de un buen mantenimiento predictivo es necesario la presencia de una base sólida en la pirámide, es decir, que se cuenta con un diseño correcto y unas actividades de mantenimiento preventivo adecuada; por lo tanto, se logra una mejor

eficiencia en los procesos de la organización e incrementar tanto la disponibilidad como la confiabilidad de sus equipos.

De forma similar, Karajagikar y Sonawane (2021) señalan en la teoría de la Pirámide de Confiabilidad la importancia de la cultura de la mejora continua, asimilándose como el nivel máximo de gestión en mantenimiento. La mejora continua se refiere a las actividades dirigidas a supervisar y analizar el rendimiento de los equipos, e introducir ajustes necesarios a partir de datos operativos recopilados anteriormente. Esto se da a través de indicadores de desempeño y análisis de tendencia de fallas, a la vez que se integran tecnologías modernas y se realizan capacitaciones a los trabajadores para mantenerse informados. Así, la cultura de la mejora continua dentro de una empresa muestra una gestión madura y óptima que garantiza la confiabilidad y disponibilidad en los activos, trayendo consigo los beneficios económicos y laborales al minimizar los costos y ocurrencia de riesgos.

Teoría 2. Las Categorías de Modos de Falla

De acuerdo con Palei et al. (2020) el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) como un enfoque destinado a asegurar el funcionamiento confiable de los activos y equipos de una organización. Así, se la puede definir como una metodología que busca las formas óptimas de aplicación de tareas de mantenimiento a través de la identificación de las fallas, las causas de su ocurrencia y posibles implicancias de continuar apareciendo.

3 Siguiendo a Talkit et al. (2023), el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) es una herramienta que determina las formas en que puede ocurrir fallas potenciales en un equipo con el fin de elaborar estrategias óptimas para su mantenimiento. Dentro de este proceso las fallas se pueden clasificar en evidentes, potenciales, funcionales u ocultas. Las fallas evidentes son aquellas que pueden ser detectadas a simple vista, las potenciales son aquellas que se detectan a priori mediante indicadores, las funcionales se refiere a las fallas que impiden a los equipos no cumplir sus tareas, mientras que las fallas ocultas son aquellas no detectables de manera inmediata. Esta clasificación sirve para poder enlazar las causas correctas a cada tipo de falla, a la vez que se puede discernir las consecuencias de que no se

solucionen. Con este enfoque para el mantenimiento, se garantiza un uso óptimo de los recursos al poder elaborar estrategias de mantenimiento acorde a las fallas presentes.

Asimismo, Maharani et al. (2019) muestran la clasificación existente de los posibles modos de falla, considerando tanto el impacto como la posibilidad de aparición. Se debe tener en cuenta que, como cada falla difiere tanto en causa como consecuencia, el tratamiento que debe seguirse según cuál aparezca también difiere. Su clasificación se realiza considerando cuatro categorías:

- **Fallos Evidentes:** Son aquellos que se detectan fácilmente y que afectan directamente la funcionalidad del sistema. Un ejemplo es la rotura de una correa transportadora que detiene una línea de producción.
- **Fallos Ocultos:** Son fallas que no se detectan inmediatamente porque no afectan de manera visible la operación. Sin embargo, pueden estar relacionadas con sistemas críticos, como fallas en dispositivos de protección.
- **Fallos Económicos:** Estas fallas no comprometen la operación del activo, pero generan costos asociados, como pérdidas de eficiencia energética o incremento en el consumo de insumos.
- **Fallos de Seguridad y Medioambientales:** Son los que tienen consecuencias graves para la seguridad del personal, la comunidad o el medio ambiente, como fugas de sustancias tóxicas o incendios.

Por otro lado, Khasanah et al. (2021) consideran a la herramienta FMEA (análisis de modos de falla y efectos) como una pieza importante dentro de la metodología RCM. La razón se encuentra en que permite determinar las causas raíz que provocan los fallos y realizar una clasificación de prioridad considerando su criticidad. De esta manera, los recursos destinados al mantenimiento de equipos se optimizan y se realiza una mejor asignación de acciones preventivas, correctivas o predictivas según cada equipo.

En la misma línea, Andrade y Herrera (2021) consideran a la metodología RCM como un proceso no estático, sino adaptable según las necesidades y condiciones de cada proceso

y organización. El primer paso es la obtención de información sobre el desempeño de cada equipo, con lo cual se pueden establecer estrategias adecuadas para incrementar la efectividad de estos. A su vez, como un proceso dinámico permite integrar nuevas herramientas para asegurar una cultura de mejora continua, tales como avances en tecnología, aplicación del Big Data, el FMEA o la Industria 4.0, permitiendo aprovechar al máximo todos los recursos y reducir los costos en que se incurren a nivel de mantenimiento.

Sobre el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), Akl et al. (2022) señalan la utilidad que proporciona la teoría de categorías de modos de falla, al proporcionar un entorno en el que se pueda analizar las fallas y clasificarlas según el impacto que tenga en los equipos. Para ello, se clasifican para las fallas como funcionales, que impiden a los equipos desenvolverse como deberían hacerlo, las ocultas, que son imposibles de observar sin herramientas adecuadas, las potenciales, que indican la temprana aparición de defectos, y las evidentes, que se detectan de manera inmediata.

Siguiendo a Osman y Alajbeg (2021), señalan que el RCM permite analizar el impacto que tienen las fallas en los sistemas de los equipos a nivel económico, operativo y de seguridad. La utilidad de clasificar las fallas según sus características permite delimitar las estrategias que se adoptan para reducir sus consecuencias. Así, adoptando el enfoque del RCM se asegura una utilización óptima de los recursos disponibles en el mantenimiento, a la vez que se reduce el tiempo de inactividad de los equipos garantizando la continuidad operativa.

Teoría 3. La Curva P-F: Identificación de Fallas Potenciales

García (2022) define al Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) como un enfoque que busca asegurar un nivel de confiabilidad y disponibilidad en equipos y bienes de una organización implementando diversas estrategias de mantenimiento. Esto implica el cumplimiento de ciertos principios que rigen el desempeño de los equipos a la vez que se mantienen los costos al mínimo. Uno de sus beneficios esenciales se encuentra en la posibilidad de clasificar las tareas de mantenimiento de acuerdo con la criticidad del equipo,

puesto que como no todos poseen la misma importancia en el proceso general, resulta imprescindible invertir todo el esfuerzo y recursos en los equipos que pueden generar consecuencias más graves si no se solucionan las fallas relacionadas a este.

Según Ahmed (2020) el foco del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) se encuentra en el análisis de las funciones que cumple cada componente de un equipo, de modo que conociéndolos se pueda determinar los modos de falla que puedan causar interrupciones en su servicio. Para ello el punto inicial se encuentra en el reconocimiento de los resultados esperados y condiciones de trabajo del equipo en cuestión. Luego se continúa examinando las fallas que puedan ocurrir debido a múltiples factores de error, desgaste, mal diseño, entre otros. Finalmente, tomando las causas de ocurrencia de cada falla identificada se valoran las consecuencias que pueda ocasionar en caso de seguir ocurriendo.

Sobre Patil y Bewoor (2022), mencionan que el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) busca estudiar la identificación de las fallas potenciales antes de que ocurran y generen complicaciones. Para ello, se basa en la teoría de la Curva P-F la cual muestra gráficamente cuál es el tiempo que transcurre entre el punto P, que representa la identificación de una irregularidad, y el punto F, que representa el instante en el que el equipo deja de funcionar correctamente. Este período de análisis P-F es el eje central de la teoría puesto que determinar correctamente cuándo ocurre contribuye a la elaboración de estrategias adecuadas para el mantenimiento predictivo de los equipos.

Patil y Bewoor (2022) mencionan que un punto central del RCM radica en la teoría de la curva P-F al determinar el período de tiempo entre que se puede identificar una falla potencial antes de escalar a una funcional. Su distribución gráfica se plasma en forma de una curva descendente, que representa el desgaste continuo del sistema.

- Falla Potencial (P): Se refiere al punto en el tiempo donde se puede detectar una condición anómala que indica el inicio de un proceso de deterioro. En esta etapa, la falla aún no ha afectado la funcionalidad del activo, pero su progresión es inevitable si no se toman medidas correctivas.

- Falla Funcional (F): Es el punto en el que el componente o sistema ya no puede cumplir con su función diseñada. La detección tardía en esta etapa generalmente implica altos costos de reparación y tiempo de inactividad no planificado.

Lei et al. (2022) se refieren al Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) como un instrumento que apoya a la gestión del mantenimiento, tomando un enfoque sistemático que permite a cualquier organización adaptarla a su entorno de trabajo para minimizar costos e incrementar la confiabilidad de los equipos. Esta gestión se da a través de la aplicación de diversas estrategias de mantenimiento siguiendo una escala de criticidad de los equipos, con lo cual se permite destinar los recursos a aquellos que más lo requieran contribuyendo a la sostenibilidad industrial y operativa.

Fernández (2020) desarrolla la curva P-F dentro del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM). Menciona que esta ayuda a detectar momentos de inspección en donde se puedan mitigar las fallas antes de su ocurrencia. Esto se da mediante el uso de tecnologías de monitoreo, ultrasonido, termografía, etc. que permiten identificar si un equipo presenta señales de deterioro, siendo importante detectarlas a tiempo con el fin de minimizar el impacto operativo y económico en el proceso de producción. De esta manera, aplicando el RCM dentro del mantenimiento se logra reducir los riesgos de falla e incrementar la disponibilidad operativa de los equipos de trabajo.

Yang et al. (2020) desarrollan el concepto de la curva P-F dentro del contexto del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM). Señala que la curva P-F establece un marco teórico en donde se asignan dos puntos que representan la falla funcional, el punto F, e indicios detectables, el punto P, de modo que se busque encontrar posibles rastros de deterioro para ejercer acciones correctivas. Para la detección se utilizan instrumentos de análisis predictivo y supervisión los cuales extienden el tiempo P-F en donde se detectan las fallas y se optimiza la toma de decisiones. Esto contribuye a una mejor gestión de las fallas potenciales y trae consigo beneficios económicos asociados a la reducción de costos y de paradas por inactividad. Así, la utilización de la curva P-F dentro del contexto del RCM permite un mejor nivel de sostenibilidad industrial y operativa.

1.1.2. Variable 2: Disponibilidad operativa

Teoría 1: Teoría de Confiabilidad y Mantenibilidad (RAM)

Considerando la teoría de la Confiabilidad y Mantenibilidad (RAM), para Fernández (2020) ² la disponibilidad operativa se define entorno a la posibilidad de que un equipo se encuentre apto para operar en el momento que se precisa. Para ello, se tienen presentes tres elementos: la confiabilidad del equipo de modo interno, soporte logístico y capacidad de mantenimiento de la organización. Esta perspectiva integral permite un mejor análisis de la ejecución de los equipos, de forma que se dé prioridad a reducir las paradas imprevistas y a incrementar el tiempo operativo.

Ecuación 1 Cálculo de la disponibilidad

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

Dónde:

MTBF: Tiempo promedio entre fallas

MTTR: Tiempo promedio para reparaciones

García (2022) ²³ señala que la disponibilidad se refiere a la capacidad que tiene un equipo para cumplir la función para la que fue creado sin realizar pausas de por medio. En este sentido, representa un indicador que mide cómo de bien se está desarrollando un equipo en específico. Un nivel alto de confiabilidad tiene una menor probabilidad de que ocurran fallas con lo cual se incrementa la disponibilidad operativa. A su vez, la confiabilidad también depende del diseño inicial ³⁸ del equipo, así como de la calidad de los materiales con los que fue creado, y las condiciones del entorno en que se encuentre.

En cuanto a Jackson (2021), señala que la disponibilidad involucra la reducción de fallas tanto de nivel grave como mínimas, puesto las graves pueden interrumpir las operaciones, pero las mínimas pueden mermar la eficiencia operativa de los equipos. De este modo, insertándose dentro de la teoría RAM, se considera a la confiabilidad como una característica dinámica que tiene que optimizarse a nivel de diseño, debe contar con un

seguimiento continuo y analizar los datos históricos para conocer su operatividad. Un alto nivel de confiabilidad en los equipos permite otorgar confianza en los procesos que realiza la empresa al reducir las contingencias que pueden darse por interrupciones no programadas.

Zakikhani et al. (2020) señala que un factor central dentro de la teoría RAM es el concepto de la mantenibilidad. Esta mide cómo de fácil puede ser analizado y arreglado un equipo luego de presentar alguna falla. Para ello considera los elementos de diseño, conocimiento de los trabajadores e intervenciones que se realizan. El objetivo de la mantenibilidad es minimizar el MTTR (Tiempo medio para reparaciones) puesto que así se reduce el tiempo en que un equipo se encuentra sin funcionar, impactando positivamente en la disponibilidad operativa. La teoría RAM (Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad) aporta un enfoque integral para medir y mejorar la disponibilidad de equipos, considerando la probabilidad de funcionamiento sin fallas (confiabilidad), el tiempo requerido para restaurar el equipo (mantenibilidad) y la capacidad de operar cuando se necesita (disponibilidad operativa).

Romero (2022) señala que la teoría RAM dirige sus ideas a conceptualizar la disponibilidad operativa. Esta es importante puesto que se ve reflejada en el nivel de eficiencia que muestran las operaciones de una empresa, el cual si se incrementa también lo hace la productividad y competitividad organizacionales. Otros elementos comunes a la disponibilidad operativo se encuentran en la gestión logística, que toma al ordenamiento del inventario, planificación logística y nivel de respuesta ante eventos inesperados. Una buena gestión logística trae consigo la optimización en el uso de los recursos que dispone la empresa, siendo para ello esencial integrar las herramientas digitales que permiten cumplir este objetivo.

Medialdea y Corrales (2022) señalan que la teoría RAM está dirigida a administrar los equipos de una organización para garantizar su disponibilidad. Para ello debe tomar en cuenta tanto la confiabilidad como la gestión logística y la mantenibilidad; al abarcar los tres factores asegura que se incremente lo máximo el tiempo operativo de las máquinas y optimizando su ciclo de vida. Así, se logra la reducción de posibles fallas potenciales y se

integra una cultura de mejora continua. Uno de los principales logros se encuentra en la mejora del uso de los recursos de la compañía para aplicar el mantenimiento a los equipos que se encuentren con mayor nivel de criticidad.

Espinosa et al. (2020) añaden sobre la disponibilidad que debe estar acompañada de un proceso de estandarización en las tareas de mantenimiento. Esto se refiere a la elaboración de procedimientos, manuales técnicos, entre otros documentos que aseguren un diagnóstico preciso. Esto se nota mucho más en organizaciones que cuenten con tecnología de sensores para una detección más dinámica de problemas que a futuro pueden volverse fallas críticas. De esta manera se optimiza el tiempo de reparación, se reducen las paradas y se mejora el uso de los recursos. Finalmente, la gestión logística también ocupa un lugar importante dentro de la teoría RAM, la cual se refiere a un uso adecuado de los recursos de forma que se encuentren disponibles al requerir de un proceso de mantenimiento. Dentro de estos usos se encuentran un adecuado suministro de recambios, trabajadores preparados y herramientas necesarias.

Teoría 2. Teoría del Mantenimiento Proactivo

Sobre la teoría del Mantenimiento Proactivo, Vallencillos (2021) señala que su enfoque trata de discernir los problemas de fondo que afectan a la confiabilidad de los equipos, de modo que se puedan suprimir estas en lugar de enfocarlo posterior a la ocurrencia de las fallas. Esto es a lo que se refiere con la disponibilidad operativa, y con el fin de incrementarla al máximo se debe buscar arreglar las condiciones iniciales que llevan a las averías a través del mantenimiento. Es así que esta teoría provee una forma tanto confiable como sostenible en la operatividad de los equipos, reduciendo los períodos de inactividad e incrementando el tiempo de trabajo de estas. De ese modo, se toma a la disponibilidad operativa no solo como una métrica de gestión sino también como una forma de medir la responsabilidad de la organización en el cumplimiento de su gestión.

Asimismo, Muñoz (2022) señala las diferencias presentes entre el enfoque del mantenimiento proactivo respecto de los otros tipos. Principalmente busca asegurar que los

equipos puedan funcionar en toda su vida útil y no solo estar presente una vez se detectan las fallas, de modo que se logra una disminución significativa de las tasas de falla. A su vez, señala que la teoría se sostiene de tres pilares centrales. El primero se encuentra en la búsqueda de las deficiencias desde su origen para suprimirlas, realizar un seguimiento y control estricto a las condiciones de operación e implementar tecnologías modernas y actualizadas para el diagnóstico adecuado. De manera ejemplificada, se puede mencionar al sector de aviación, en las cuales es necesario que se realice un control estricto a los motores de los aviones para verificar sus vibraciones, presiones o temperatura en tiempo real. Ante la presencia de alguna desviación se desplegará un equipo de mantenimiento para arreglar el problema adelantándose a la aparición de una posible falla funcional.

En González y Fuentes (2021) se menciona también que un elemento central en el mantenimiento proactivo es la detección de causas origen de las fallas para su posterior eliminación. Con este fin se utilizan herramientas como el RCA (análisis causa raíz) que resulta útil para determinar cuáles son los factores que están detrás de las fallas, deficiencias e imperfecciones. Así, en el caso del desgaste en los rodamientos de un motor, el RCA puede señalar que la causa se encuentra en una mala lubricación o un desajuste del alineamiento del eje. El enfoque del mantenimiento proactivo interviene entonces solucionando estos problemas desde el inicio y no solo realizando un recambio a los componentes, evitando una posterior ocurrencia más adelante.

De forma similar, Akpan et al. (2023) señalan que el control de las condiciones operativas es otro pilar esencial del mantenimiento proactivo. Los equipos operan bajo un rango específico de condiciones que, si se exceden, pueden acelerar su deterioro o provocar fallas prematuras. Por lo tanto, el mantenimiento proactivo busca establecer controles rigurosos para asegurar que los equipos trabajen dentro de los parámetros recomendados por los fabricantes o definidos por el diseño. Esto incluye aspectos como la temperatura, la vibración, la presión y la calidad de los materiales utilizados. Por ejemplo, en una planta de procesamiento químico, mantener las temperaturas de operación dentro de los límites especificados evita el estrés térmico en los componentes, prolongando su vida útil y garantizando su disponibilidad operativa.

En la misma línea, Linares (2020) menciona que el uso de tecnologías para el diagnóstico complementa al mantenimiento proactivo, pues posibilita el realizar seguimiento a las condiciones de cada equipo y evaluar si existen condiciones anómalas antes de una falla. Una opción de tecnología puede ser el análisis de aceite, que permite encontrar partículas metálicas en caso de desgaste de componentes de un sistema. Una vez detectada esta, se puede actuar en consecuencia y realizar las acciones adecuadas de modo que se evita que el equipo deje de funcionar. Asimismo, no solo se descartan problemas emergentes, sino que se trabaja de cara a evitar la aparición de fallas en el futuro.

De manera complementaria, Rivas (2020) menciona que otro factor elemental dentro del mantenimiento proactivo es la formación a los trabajadores en temas relacionados y la implantación de una cultura de mejora continua. Con estos puntos, se reconoce la importancia de la fuerza laboral dentro de la organización para alcanzar una alta disponibilidad operativa. Tanto los operadores como los técnicos de los equipos deben encontrarse formados e instruidos con el fin de detectar, corregir y eliminar cualquier elemento anómalo antes de que se acentúe su gravedad. Asimismo, como ya se observó, el mantenimiento proactivo se centra en prevenir antes que la corrección reactiva, por lo que se fomenta una cultura de prevención dentro de la organización.

En cuanto a Ramírez et al. (2018), señala la relevancia que tiene en la disponibilidad operativa la aplicación del mantenimiento proactivo. Una vez se corrigen y suprimen las causas originarias de las fallas y se asegura un ambiente de operación óptimo, se logra un incremento en el tiempo de los procesos de producción a la vez que se reducen los períodos de inacción de los equipos. A nivel económico se observa una disminución de los costos destinados a reparar las fallas, mientras que a nivel operativo se incrementa el nivel de confiabilidad de todos los sistemas y equipos.

Teoría 5. Teoría de la Gestión de Riesgos Operacionales

Sobre la teoría de la Gestión de Riesgos Operacionales, Acuña (2022) resalta que toma a la disponibilidad operativa como la disposición de un equipo a operar de forma

ininterrumpida a la vez que se van determinando los riesgos posibles de ocurrir y que afecten su funcionamiento. La teoría toma en consideración que se debe reducir en lo posible la incertidumbre respecto a las interrupciones y paros durante la operación, entre las que se incluyen fallas técnicas, humanas, catástrofes naturales, o cualquier situación que desestabilice las operaciones regulares.

En cuanto a Peñafiel et al. (2021) definen a la disponibilidad operativa como un proceso en el que se le da un mismo peso tanto a la identificación de errores como a la aplicación de medidas que aseguren una productividad mínima y a la atenuación del impacto que pueda provocar la ocurrencia. Considerando esto, se establece como una de las bases el análisis de riesgos, que posibilita la determinación de vulnerabilidades dentro de los sistemas que utilicen los equipos. Tomando el caso de una planta de producción, luego de un análisis se puede deducir la existencia de probabilidades altas de que ocurran fallas críticas en ciertos equipos, por lo que a partir de ello se pueden elaborar estrategias óptimas para su mantenimiento y mitigación de impacto.

Adicionalmente, Khasanah et al. (2021) mencionan otro pilar de la teoría de la Gestión de Riesgos Operacionales, que es la planificación de contingencias. Esta precisa que es necesario la elaboración de planes de emergencia a detalle, mantener la disposición de recursos necesarios y establecer redundancias con el fin de responder eficientemente. Un caso por mencionar es en el transporte ferroviario, puesto que contar con un equipo preparado para realizar mantenimiento e incluir redundancias en sus sistemas permite una respuesta veloz ante la presencia de alguna avería. Esto asegura la disminución de períodos de inactividad de los equipos, así como el aseguramiento de una disponibilidad operativa de estos. A su vez, es importante contar con tecnologías modernas de monitoreo que permitan detectar posibles fallas, anomalías y las condiciones de todos los equipos de modo que se evite que escalen a un nivel más grave.

Jiménez (2021) señala que otro elemento característico en la teoría de la Gestión de Riesgos Operacionales se encuentra en el enfoque multidisciplinario que le da a la disponibilidad operativa. Esto se refleja en la importancia que le da tanto a los trabajadores

técnicos, como a los operadores, gerentes y estrategias para la determinación y análisis de los riesgos considerando sus múltiples puntos de vista; con esto se logra una elaboración de estrategias de mitigación más efectiva. Así, dentro de una planta petroquímica en la que se utiliza esta teoría para identificar los posibles riesgos, se considerará las opiniones de los técnicos, gerentes y guardias para estimar cada uno de ellos en la formación de los protocolos de emergencia.

De forma similar, Rivas (2020) también señala la importancia que tiene la mitigación de impactos dentro de esta teoría. Esto se muestra en el hecho de que la gestión de riesgos operacionales busca reducir el impacto de estos, no suprimirlos por completo. Para ello se llevan a cabo diferentes estrategias como aplicación de materiales resistentes, introducir a los procesos etapas de mantenimiento o diseños más robustos en los equipos. De este modo, se reduce la posibilidad de ocurrencia de fallas críticas y se asegura la continuidad de las operaciones.

En cuanto a Fernández (2020), señala a la resiliencia como una característica central en la disponibilidad operativa, considerando la teoría de la Gestión de Riesgos Operacionales. La resiliencia se refiere a un proceso en el que, al ocurrir algún fallo crítico en un sistema, debe estar en la posibilidad de recuperarse de forma inmediata. Así, en el sector de telecomunicaciones, a pesar de la presencia de condiciones climáticas adversas que interrumpe los servicios, el uso de sistemas redundantes y trabajadores cualificados permite la pronta recuperación de estos. Asimismo, se debe tener presente una buena gestión del conocimiento, puesto que permite registrar eventos pasados, elaborar simulaciones con información histórica y permitir anticiparse a cuestiones futuras dentro de la organización.

De acuerdo con Andrade y Herrera (2021) es vital un análisis de la disponibilidad operativa en el marco de la Gestión de Riesgos Operacionales. Señala que esta es un concepto dinámico al considerar distintos elementos tales como la mitigación de fallos, seguimiento y monitoreo, planeamiento proactivo, aplicación de sistemas resilientes y el uso de la gestión del conocimiento. Al englobar todas estas herramientas una organización tiene garantía de que sus operaciones tendrán una buena continuidad, incrementarán su competitividad dentro

del mercado y obtendrán beneficios económicos al minimizar las pérdidas debido a los paros no programados. Tomar un enfoque holístico de la disponibilidad permite que todos los equipos se encuentren listos para realizar sus funciones asignadas ante cualquier eventualidad, de modo que contribuye significativamente a cumplir las metas organizacionales.

1.2. Marco conceptual

Análisis de Criticidad: Técnica que identifica y prioriza equipos según su importancia para la operación. Evalúa el impacto de las fallas en seguridad, producción, medio ambiente y costos. Es importante pues permite identificar los activos en los que se deben centrar los esfuerzos de mantenimiento en el marco del RCM (Acuña, 2021).

31 Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA): Instrumento que permite conocer las fallas posibles dentro de un sistema, así como sus causas y consecuencias. Con esto permite la elaboración de estrategias de mantenimiento para la mitigación de los riesgos de ocurrencia (García, 2022).

Causa Raíz: Es el factor inicial que genera la ocurrencia de una falla. Su identificación y posterior solución permite la prevención de que esta falla vuelva a ocurrir, con lo cual se logra una mejora en la confiabilidad del sistema (Muñoz, 2022).

47 Confiabilidad: Representa la probabilidad de que un equipo funcione correctamente en condiciones específicas durante un periodo determinado. Su aporte permite optimizar la planificación de mantenimiento, mejorar la eficiencia operativa y reducir interrupciones, lo cual es esencial para asegurar la continuidad productiva (Acuña, 2021).

30 Eficiencia Operativa: Relación entre recursos utilizados y resultados obtenidos tras un proceso productivo o servicio. Su aporte permite evaluar el desempeño global, identificar desperdicios, mejorar la productividad y garantizar el uso óptimo de recursos disponibles en las organizaciones (Rivas, 2020).

Estrategia de Mantenimiento: Es el plan que define actividades y frecuencia de mantenimiento para asegurar la operatividad de los equipos. Su aporte contribuye a minimizar fallas imprevistas, extender la vida útil de activos y asegurar procesos confiables y eficientes. (Romero, 2022).

Falla Funcional: Es la incapacidad de un equipo para cumplir su función principal de diseño. Su aporte radica en facilitar el análisis causa-raíz, definir acciones correctivas y fortalecer estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo (Acuña, 2021).

Falla Oculta: Falla no detectada de inmediato por no generar impacto visible en el sistema. Su aporte permite implementar inspecciones específicas, mejorar el monitoreo de condición y garantizar la continuidad de procesos críticos (Acuña, 2021).

Falla Potencial: Son signos iniciales que indican un posible fallo funcional futuro. Su aporte permite activar mantenimientos predictivos y evitar fallas mayores, reduciendo costos y mejorando la confiabilidad de equipos (Acuña, 2021).

Mantenibilidad: Facilidad para inspeccionar, reparar o restaurar un equipo. Su aporte permite reducir tiempos de inactividad, mejorar la eficiencia del personal técnico y asegurar la rápida recuperación operativa (García, 2022).

Mantenimiento Correctivo: Conjunto de actividades para reparar equipos tras una falla. Su aporte permite restablecer rápidamente la operación, aunque implica altos costos y afecta la confiabilidad a largo plazo (Linares, 2020).

Mantenimiento Preventivo: Mantenimiento basado en tecnologías que predicen fallas. Su aporte optimiza recursos, reduce tiempos de inactividad y mejora la confiabilidad con un enfoque basado en datos reales (Linares, 2020).

Mantenimiento Predictivo: Enfoque que elimina las causas raíz de las fallas antes de que ocurran. Su aporte mejora la estabilidad de procesos, extiende la vida útil de activos y promueve la mejora continua (Linares, 2020).

Mantenimiento Proactivo: Es un enfoque de mantenimiento que busca prevenir las fallas mediante la eliminación de sus causas raíz mucho antes de su aparición. Su aporte es clave para mejorar la confiabilidad, optimizar recursos técnicos y económicos, y promover una cultura organizacional de mejora continua (Linares, 2020).

Modos de Falla: Son las diferentes formas en que un equipo puede fallar, incluyendo errores humanos, mal diseño, desgaste por uso o tiempo, entre otros factores. Su aporte facilita la identificación de vulnerabilidades críticas, permite definir acciones preventivas y mejora el análisis causa-raíz en la gestión de activos (Acuña, 2021).

Monitoreo de Condición: Procedimiento mediante el cual se evalúa el estado actual de un equipo utilizando inspecciones y tecnologías de diagnóstico. Su aporte permite detectar desviaciones tempranas, optimizar los programas de mantenimiento y mejorar la disponibilidad operativa al anticipar posibles fallas (Rivas, 2020).

Planificación del Mantenimiento: Etapa donde se programan las actividades de mantenimiento necesarias para asegurar la operatividad de los equipos, reduciendo tiempos de inactividad. Su aporte es fundamental para optimizar el uso de recursos, coordinar mejor al personal técnico y mejorar la eficiencia de las intervenciones (Muñoz, 2022).

Riesgo Operacional: Probabilidad de que ocurra un evento adverso que afecte negativamente el funcionamiento de un equipo o sistema. Su aporte radica en priorizar acciones preventivas, fortalecer la gestión de riesgos y mejorar la seguridad y confiabilidad de los procesos productivos (García, 2022).

Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF): Indicador que mide el tiempo promedio de funcionamiento de un equipo antes de que ocurra una falla. Es clave para evaluar la

confiabilidad de los activos y planificar el mantenimiento. Su aporte permite evaluar la confiabilidad real, ajustar planes de mantenimiento y optimizar la toma de decisiones en la gestión de activos. (Fernández, 2020).

3 **Tiempo Medio para Reparaciones (MTTR):** Indicador que mide el tiempo promedio que requiere un equipo para ser reparado producto de una falla. Este indicador involucra la identificación y el diagnóstico del sistema para evaluar su capacidad de recuperación, con el fin de restaurarlo en el menor tiempo posible. Su aporte es clave para mejorar la eficiencia de las respuestas, optimizar recursos técnicos y reducir tiempos improductivos en los procesos industriales (Fernández, 2020).

1.3. Antecedentes

1.3.1. Antecedentes Internacionales

De acuerdo con Chen et al. (2024) en su artículo de investigación titulado “Reliability-centered availability collaborative optimization allocation approach for machine tools” el objetivo fue desarrollar la metodología RCM para mejorar la disponibilidad de una máquina fresadora. En primer lugar, se estableció un modelo de asignación de confiabilidad de dos etapas basado en diferentes mecanismos de asignación tomando el árbol de descomposición Función-Movimiento-Acción (FMA) como la ruta de asignación. En la primera etapa, los pesos de asignación se determinan con base en el análisis de sensibilidad global. En la segunda etapa, se establece el modelo de asignación de optimización de confiabilidad. Luego, con la confiabilidad como centro, se construye un modelo de asignación de optimización colaborativa de disponibilidad restringido por la capacidad de mantenimiento. Los resultados determinaron un cambio de la disponibilidad hasta el 91.82% por lo que se concluye que se obtiene un rendimiento que cumple con los requisitos de confiabilidad de la máquina.

Akpan et al. (2023) en su investigación denominada “Availability and Reliability Indices: A practical Approach for Afam thermal Plant Assessment and Improvement”, la

finalidad fue desarrollar la metodología RCM para el mantenimiento de equipos e incrementar su disponibilidad. En este sentido, se realizó un análisis de la integridad mecánica y el análisis de riesgos que son ejes las centrales, dado que se requiere educir y pronosticar fallas futuras y las acciones correctivas tomadas para mitigar el tiempo de inactividad; asimismo, el gráfico de Weibull se utilizó para evaluar los datos de falla. Los resultados evidenciaron una mejora del tiempo medio entre fallas (MTBF) a 1164 horas lo que determinó una disponibilidad en promedio del 93%.⁵ por lo tanto, se concluye que la metodología RCM mejora la disponibilidad.

Gholami et al. (2022) en su artículo científico titulado “Decision-making regarding the best maintenance strategy for electrical equipment of buildings based on fuzzy analytic hierarchy process; case study: elevator”, la finalidad fue proponer el mejor método de mantenimiento de los elevadores eléctricos de un edificio y especialmente de los ascensores con el fin de mejorar su disponibilidad. Se empleó el método de mantenimiento más apropiado, especialmente en edificios grandes como los comerciales, es un problema de toma de decisiones de múltiples criterios a través del proceso de jerarquía analítica difusa. El método RCM demanda tiempo y elevados costos, pero al priorizar las necesidades del usuario se observaron ventajas en cuanto a criterios de seguridad y valor agregado. El principal hallazgo de este estudio evidenció que el RCM incrementó la disponibilidad de elevadores en más del 95%, por lo que se concluye que este enfoque puede usarse en el caso de ascensores y mejoraría la seguridad y confiabilidad de los edificios.

1.3.2. Antecedentes nacionales

Ávila (2022) en su estudio sobre “Mejora de la gestión de mantenimiento en cosechadoras con enfoque RCM para incrementar su disponibilidad en una empresa agroindustrial” tuvo como objetivo analizar cómo el uso de ² la metodología RCM en el mantenimiento de cosechadoras permitió incrementar la disponibilidad para la empresa agroindustrial Laredo. Para ello, se utilizó información histórica sobre las fallas y se utilizó el análisis AMEF para determinar los subsistemas con mayor cantidad, clasificándolas según su prioridad. Con esto registrado, se incrementó la cantidad de tareas relacionadas al

mantenimiento predictivo o correctivo según el tipo. El logro de esta implementación fue la disminución de los períodos de inactividad a lo largo de 1 año, reduciéndose de 4,427.96 en 2020 a 3,344.87 horas en 2021, mientras que la disponibilidad se logró incrementar al pasar de 41% en 2020 a 46% en 2021. El éxito de esta mejora trajo consigo una serie de recomendaciones para mantener una continua mejora, como la capacitación de trabajadores en temas de mantenimiento y mejoras a las cosechadoras, así como en los planes de mantenimiento a implementar.

En la misma línea, en Serrano (2024) en su investigación titulada “Plan de mantenimiento RCM para incrementar la disponibilidad de los Scooptrams R1300G en la Unidad Minera Yauricocha - Empresa Corimayo” el objetivo principal fue analizar la importancia que tuvo la aplicación del RCM en el aumento de la disponibilidad de cargadores scooptrams R1300G para la empresa Corimayo. El proceso inicia identificando las fallas principales de los sistemas a través del diagrama de Pareto y el AMEF, luego de lo cual se clasifican estas según su nivel de criticidad. Posteriormente, se elabora una hoja de decisiones para registrar las fallas y sus consecuencias en las máquinas. A partir de esta información, se lleva a cabo un plan de mantenimiento al cual se le asigna un tipo ya sea predictivo, preventivo o correctivo según la necesidad de cada sistema. De esta forma se logró una mejora en los indicadores de gestión, en donde el MTTR se redujo de 6.4 a 4.7 horas mientras que el MTBF aumentó de 47.2 a 99.2 horas, logrando así un incremento de la disponibilidad la cual pasó de 82.33% a 88.0% el cual cumple con los estándares establecidos de una disponibilidad mayor a 85%.

Asimismo, en la investigación de Jiménez y Diaz (2022) titulada “Implementación de un programa de mantenimiento bajo la metodología RCM para aumentar la disponibilidad de los motores QSB 6.7 de la flota de terminals truck de la empresa APM Terminals” el objetivo fue evaluar cómo aplicación del RCM en vehículos de maquinaria pesada permitía elevar la disponibilidad de motores QSB. La implementación inició con un análisis de criticidad, que muestra tanto el nivel de criticidad de los sistemas como su MTTR, disponibilidad y tasa de fallos. Luego, se aplicó el AMEF para determinar cuáles son los elementos con mayor cantidad de fallos, así como la gravedad de estos. Una vez concluido

todo este proceso, se llevan a cabo las tareas de mantenimiento preventivo a los sistemas identificados, de modo que se logre una mejora en su funcionalidad. A partir de ello, se logró mejorar los resultados de los indicadores de disponibilidad, incrementándose esta de 85.56% a 98.46%. A su vez se obtuvo resultados viables económicamente, con un VAN positivo de \$3,270,431.16 y un TIR de 121%. Finalmente, algunas sugerencias obtenidas de la experiencia señalan la utilidad de contar con auditores para formular de manera adecuada los objetivos y el plan para su cumplimiento.

1.4. Justificación de la metodología elegida

El desarrollo del trabajo de suficiencia profesional recoge la experiencia en la empresa para la gestión del mantenimiento de los activos. En este sentido, la metodología RCM cuenta con un amplio respaldo teórico para emplear sus herramientas como directrices para conservar las condiciones de activos y asegurar su disponibilidad. Asimismo, el desarrollo de estrategias permitió fortalecer las capacidades y aptitudes profesionales del autor respecto al manejo de equipos altamente complejos, tal es el caso de los trafos eléctricos.

Por otro lado, se evidenció la capacidad de trabajo en equipo lo cual fortalece el desarrollo profesional y éxito en el campo laboral, las estrategias de mantenimiento permiten un trabajo coordinado y el uso de habilidades específicas dentro del personal de la empresa; adicionalmente, se gestionó un plan de control para velar por el cumplimiento de las disposiciones técnicas y orientarse hacia la mejora continua.

1 **CAPÍTULO III: Aporte y desarrollo de la experiencia**

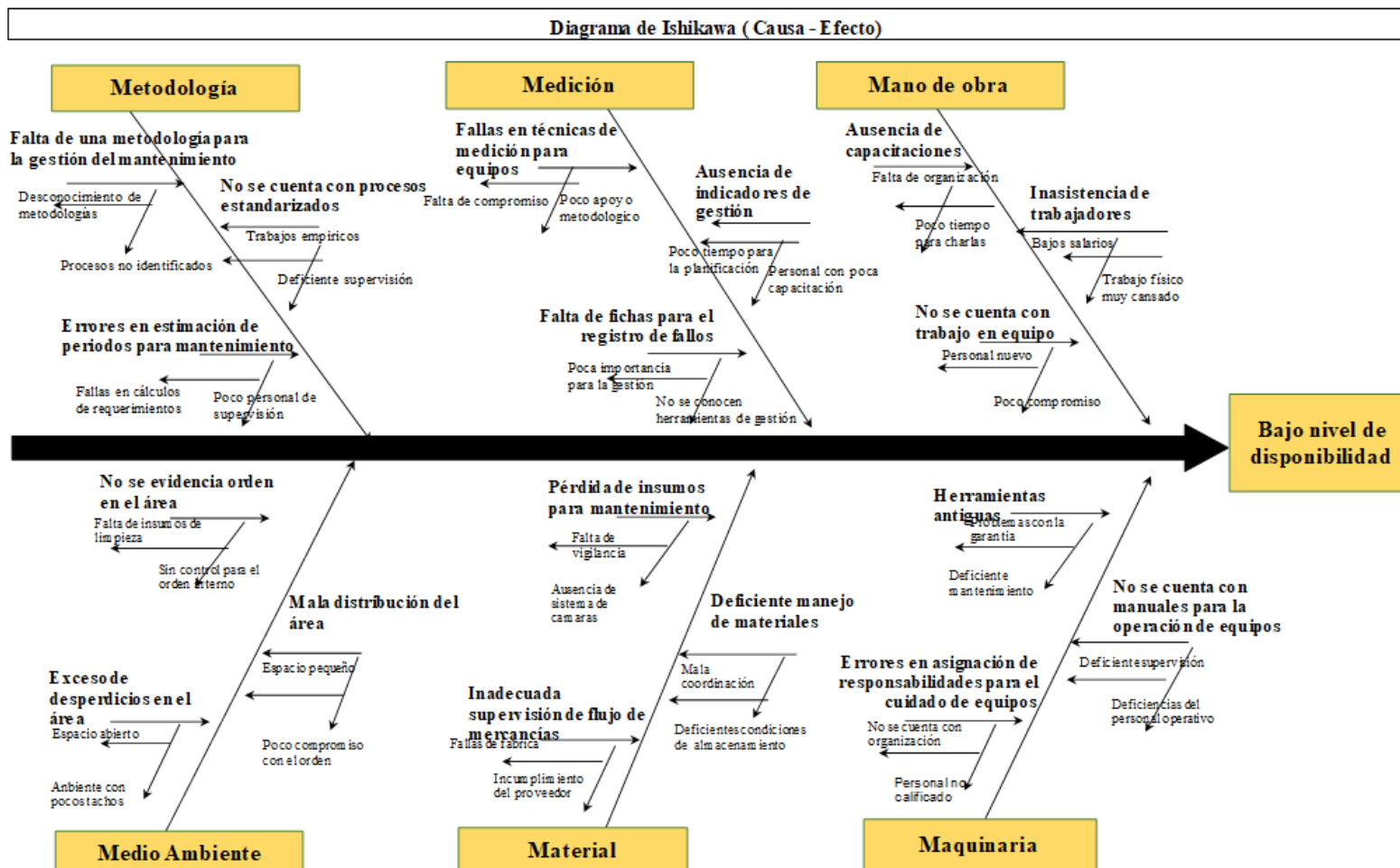
2.1. Diagnóstico de la situación problemática

El diagnóstico de la situación problemática en CBELECTRIC INDUSTRIAL SAC reveló una serie de deficiencias en la gestión del mantenimiento que afectan la disponibilidad operativa de los equipos. A pesar de contar con un promedio aceptable de MTBF, la empresa enfrenta desafíos significativos en el MTTR y la disponibilidad, lo que sugiere que las fallas y el tiempo de reparación están impactando negativamente en la producción. Es por ello por lo que resulta imprescindible encontrar las causas raíz de estas problemáticas, pues permitirá elaborar soluciones que mejoren la eficiencia de la empresa. Dicho ello, se realizó un análisis para 12 transformadores eléctricos.

El Diagrama de Ishikawa fue una herramienta útil para la adecuada identificación de las causas raíz. Su utilidad radica en la capacidad que tiene para desagregar las causas de un problema en categorías específicas, de modo que se facilita la visualización de las relaciones entre diferentes factores. En el contexto del presente estudio, con el diagrama de Ishikawa se logró que los equipos de trabajo puedan identificar las causas subyacentes que afectaban a la disponibilidad operativa.

Figura 7

Diagrama de causa – efecto de la problemática de baja disponibilidad



Nota. Información proporcionada por la empresa

Tabla 2

Datos de disponibilidad (previo)

Periodo	Tiempo medio entre fallas			Tiempo medio para reparaciones			Disponibilidad
	Tiempo de funcionamiento	N° fallos	MTBF	Tiempo de inactividad	N° fallos	MTTR	
ene-23	5211	75	69.5	369	75	4.92	93.4%
feb-23	4682	71	65.9	358	71	5.04	92.9%
mar-23	5163	80	64.5	417	80	5.21	92.5%
abr-23	4961	85	58.4	439	85	5.16	91.9%
may-23	5141	83	61.9	439	83	5.29	92.1%
jun-23	4973	79	62.9	427	79	5.41	92.1%
jul-23	5117	81	63.2	463	81	5.72	91.7%
ago-23	5075	83	61.1	505	83	6.08	90.9%
sep-23	4855	90	53.9	545	90	6.06	89.9%
oct-23	5027	95	52.9	553	95	5.82	90.1%
nov-23	4836	92	52.6	564	92	6.13	89.6%
dic-23	4948	98	50.5	632	98	6.45	88.7%
Promedio	4999.1	84.3	59.8	475.9	84.3	5.61	91.3%

Nota. Información proporcionada por la empresa

En la Tabla 2, se observa que el valor promedio del Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), del Tiempo Medio para Reparaciones (MTTR) y de la disponibilidad muestran una situación en donde los 12 transformadores eléctricos necesitan de una atención próxima. El valor promedio del MTBF fue de 4999.1 horas, evidenciando un nivel de fiabilidad aceptable, aunque existiendo cierto margen de mejora. El MTTR promedio de 5.61 horas indica que, si bien las reparaciones se realizan en un tiempo razonable, hay espacio para optimizar este proceso. La disponibilidad promedio del 91.3% sugiere que, aunque los equipos están operativos en gran medida, hay un 8.7% del tiempo en que no lo están, lo que puede impactar negativamente en la producción y en la satisfacción del cliente.

El diagnóstico realizado sugiere que la empresa presenta desafíos en el proceso de gestión para el mantenimiento. La combinación de un MTTR elevado y una disponibilidad decreciente indica la necesidad de implementar un enfoque de mantenimiento centrado en la

confiabilidad (RCM) para identificar y mitigar las causas de fallas, optimizando así la operatividad de los equipos y mejorando la eficiencia general de la empresa.

Figura 8

2 Evolución del tiempo medio entre fallas (previo)

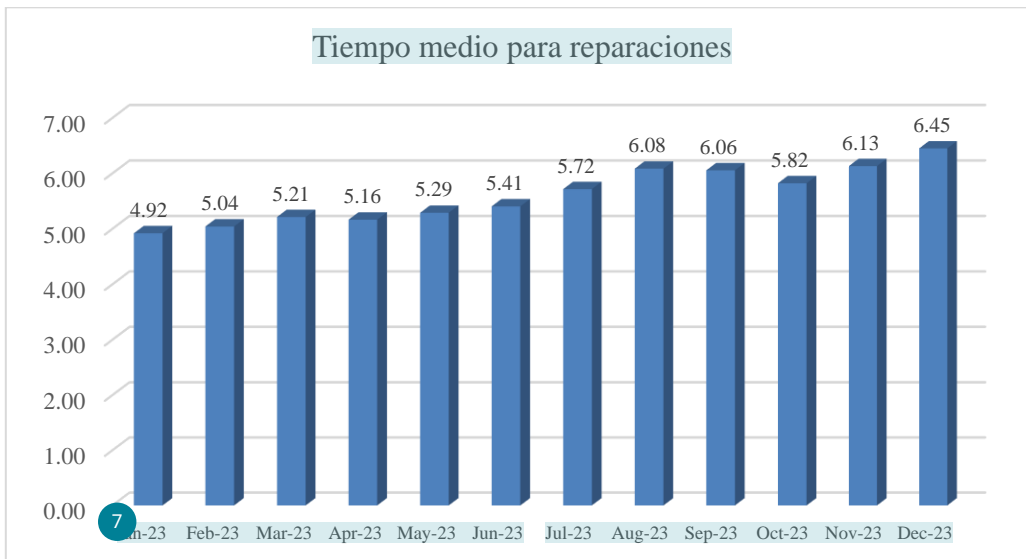


Nota. Información proporcionada por la empresa

2 En la Figura 8 se observa la evolución del Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), en el cual se pudo observar la fiabilidad de los equipos de la empresa para el período 2023. El MTBF mostró una variabilidad significativa, empezando con 69.5 horas en enero y llegando a reducirse hasta 50.5 horas en febrero. Esta variación sugiere que, si viene en ciertos meses se lograron tiempos largos de funcionamiento, en otros meses se experimentó un crecimiento prolongado de ocurrencia de fallas. En general, el promedio de 59.8 horas indica que existe un margen amplio de mejora pese a que el rendimiento de los equipos pueda ser aceptable. La tendencia decreciente en el MTBF en ciertos meses se puede deber a ciertos factores tales como desgaste de la maquinaria, falta de mantenimiento preventivo o necesidad de capacitar al personal en el manejo de estos. Para conseguir una mejora significativa, se debe implementar un enfoque de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), que permita identificar las causas raíz de las fallas y establecer estrategias de mantenimiento proactivas.

Figura 9

Evolución del tiempo medio para reparaciones (previo)

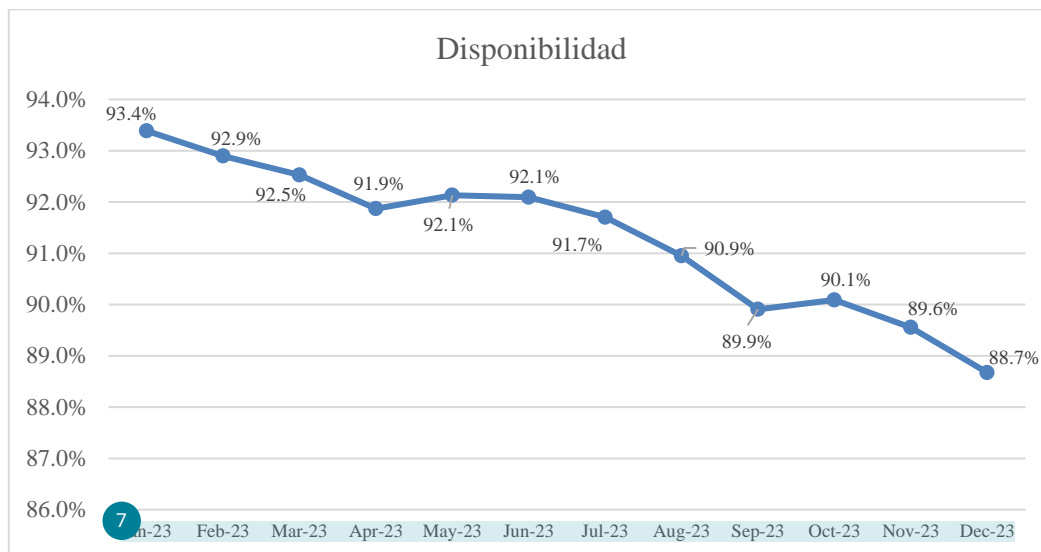


Nota. Información proporcionada por la empresa

En la Figura 9 se observa el comportamiento del Tiempo Medio para Reparaciones (MTTR) el cual proporciona información sobre la eficiencia del proceso de mantenimiento. Durante el período 2023, el MTTR tuvo un promedio de 5.61 horas, con un crecimiento continuo hasta alcanzar 6.45 horas en diciembre. Este aumento del tiempo de reparación puede deberse a múltiples factores tales como la complejidad de las fallas ocurridas o disponibilidad de recursos. Un valor elevado de MTTR puede afectar negativamente la disponibilidad operativa, puesto que implica un mayor tiempo de reparación para la restauración de los equipos una vez estos empiezan a fallar. Es necesario la búsqueda de las causas que originan esta situación, de modo que se logre la implementación de soluciones adecuadas. Al reducir el MTTR, CBELECTRIC INDUSTRIAL SAC no solo logra una mejora significativa en la eficiencia de sus operaciones, sino que también contribuirá al aumento de la disponibilidad de sus equipos.

Figura 10

Evolución de la disponibilidad (previo)



Nota. Información proporcionada por la empresa

En la Figura 10 se menciona que, en cuanto a la disponibilidad operativa, fue un indicador que mostró la capacidad que tenían los equipos para funcionar durante el proceso de producción. En CBELECTRIC INDUSTRIAL SAC, se obtuvo un nivel de disponibilidad promedio en 2023 de 91.3%, que inició con 93.4% en enero y fue disminuyendo progresivamente hasta llegar a 88.7% en diciembre. Esta tendencia decreciente es problemática, puesto que señala que la capacidad de los equipos para trabajar sin sufrir interrupciones ha sido afectada severamente. La disminución de la disponibilidad se puede relacionar con un aumento en la frecuencia de fallas, un MTTR elevado o una falta de un mantenimiento preventivo adecuado. Para revertir esta tendencia, la empresa debe adecuar su enfoque de mantenimiento a uno centrado en la confiabilidad (RCM), de modo que se puedan identificar las causas de las fallas de manera proactiva y formular una solución acorde a ella. Además, se deben establecer métricas que permitan realizar un seguimiento de la disponibilidad de forma que se garantice una efectiva mejora de la disponibilidad, la cual a su vez optimizará la eficiencia operativa.

2.2. Desarrollo de la experiencia

El desarrollo de la experiencia en CBELECTRIC INDUSTRIAL SAC resultó de gran utilidad para lograr una implementación efectiva del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). Este proceso abarca ⁴ una serie de actividades entre las que se encuentran la programación de capacitaciones laborales, procesos de estandarización de formatos y procedimientos, e instauración de controles para el mantenimiento. Mediante la experiencia adquirida, se busca tanto optimizar el nivel de eficiencia operativa como añadir una cultura de mejora continua con la cual la empresa se pueda adaptar a las dificultades que se presenten dentro del rubro industrial. Bajo este escenario, se presentarán las actividades realizadas en la implementación del RCM, así como los resultados que se obtuvieron gracias a ello.

A continuación, se presenta el cronograma en el cual se encuentran de forma específica todas las actividades programadas para realizar ³ la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en CBELECTRIC INDUSTRIAL SAC. Cada actividad se encuentra definida de forma clara y se asigna su ejecución a ciertos períodos, de forma que se logra realizar un seguimiento adecuado del progreso. Esta planificación metódica muestra el uso de un enfoque proactivo que permita abordar las deficiencias del proceso de gestión del mantenimiento. Asimismo, esta planificación ayuda a una mayor coordinación entre equipos, asegurando que todos los aspectos del RCM se implementen de forma oportuna.

Tabla 3

Cronograma de implementación de propuesta

Fase	Actividades	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6			
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24
1) Análisis modal de fallas y efectos	1.1) Análisis de ocurrencia	■																							
	1.2) Análisis de severidad		■																						
	1.3) Análisis de dificultad de detección			■																					
	1.4) Análisis de criticidad				■	■	■	■																	
	1.5) Hoja AMEF						■	■	■																
2) Formatos y fichas para mantenimiento Centrado en la Confiabilidad	2.1) Hoka de registro de mantenimiento							■	■	■	■														
	2.2) Programa de mantenimiento preventivo									■	■	■	■												
	2.3) Programa de mantenimiento correctivo										■	■	■	■											
3) Diagramas para operaciones de mantenimiento	3.1) DOP de mantenimiento de motor													■	■	■	■								
	3.2) DOP de mantenimiento de sistema eléctrico														■	■	■	■							
	3.3) Plan de trabajo de mantenimiento															■	■	■	■						
	3.4) Ficha técnica de equipo														■	■	■	■	■	■	■				
4) Supervisión de operaciones de mantenimiento	4.1) Cronograma de auditoria																				■	■	■		
	4.2) Formato de supervisión de mantenimiento																					■	■		
	4.3) Formato de protocolo de pruebas																						■		

Nota. Información proporcionada por la empresa

- **Análisis – Diagnóstico Modal de Fallas y Efectos (AMEF)**

El análisis modal de fallas y efectos determina la criticidad de cada aspecto de fallas a través de la multiplicación de la severidad, frecuencia y dificultad de detección para el cálculo del NPR y el detalla de las puntuaciones se presenta en la siguiente Tabla 4.

Tabla 4

Análisis modal de fallas y efectos

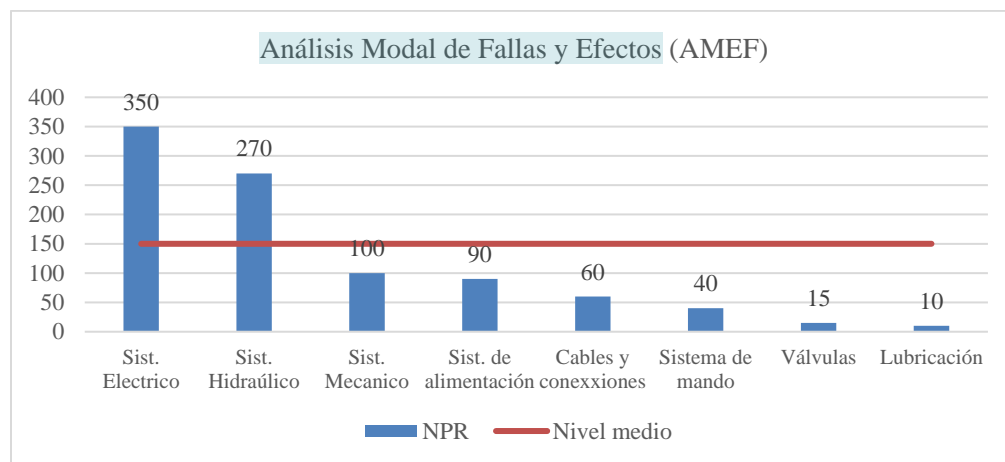
Nº	Descripción Agosto	Severidad	Frecuencia	Dificultad de detección	NPR
1	Sist. Eléctrico	10	5	7	350
2	Sist. Hidráulico	9	5	6	270
3	Sist. Mecánico	5	5	4	100
5	Sist. de alimentación	6	3	5	90
6	Cables y conexiones	6	2	5	60
7	Sistema de mando	2	5	4	40
8	Válvulas	5	1	3	15
10	Lubricación	5	1	2	10

Nota: Información tomada de la empresa de estudio.

El análisis AMEF determinó que el aspecto más crítico corresponde al sistema eléctrico con un NPR de 350 puntos, seguido por las fallas ocasionadas por el sistema hidráulico con 270 puntos; en tercer lugar, se ubican las fallas del sistema mecánico con 100 puntos seguido de cerca por las fallas de sistema de alimentación de energía con 90 puntos. La información se resume en la Figura 11

Figura 11

Análisis modal de fallas y efectos



Nota: Información tomada de la empresa de estudio.

Figura 12

Ficha AMEF

ANÁLISIS MODAL DE FALLAS Y EFECTOS										Código:			
										Fecha:			
Cliente:	Denominación producto:												
Taller	Referencia/s:												
Descripción de la fase	Efecto/s potencial/es del fallo	Severidad	Causa(s) potencial(es) del fallo(s)	Ocurrencia	Verificación(es) y/o control(es) actual(es)	Detección	NPR	Acción(es) recomendada(s)	Resultado de las acciones				
									Frecuencia de trabajo	Gravedad	Ocurrencia	Detección	NPR
Sist. Eléctrico	Detención del equipo, sin funciones básicas	10	Desgaste de piezas, mal mantenimiento	5	Mantenimiento correctivo en caso de fallas	7	350	Cambio de todo el sistema de transmisión	Semanal	3	4	4	48
Sist. Hidráulico	Cambio de batería	9	Uso excesivo de batería	5	Mantenimiento correctivo en caso de fallas	6	270	Mantenimiento y cambio de componentes	Semanal	3	3	4	36
Sist. Mecánico	Daño de carrocería y mercadería	5	Desgaste de piezas, mal mantenimiento	5	Mantenimiento correctivo en caso de fallas	4	100	Reparación de suspensión y engrase	Semanal	2	3	4	24
Sist. de alimentación	Detención del equipo, sin funciones básicas	6	Falta de mantenimiento	3	Mantenimiento correctivo en caso de fallas	5	90	Mantenimiento de sistema de frenos	Semanal	2	3	3	18
Cables y conexiones	Detención del equipo, sin funciones básicas	6	Desgaste de piezas, mal mantenimiento	2	Mantenimiento preventivo mensual y según kilometraje	5	60	Aplicación de refrigerante y mant bujías	Semanal	2	4	2	16
Sistema de mando	Daño de carrocería y mercadería	2	Golpes y daños	5	Mantenimiento preventivo mensual y según kilometraje	4	40	Reparación de secciones con daño	Quincenal	2	2	4	16
Válvulas	Errores en manejo	5	Desgaste de piezas, mal mantenimiento	1	Mantenimiento preventivo mensual y según kilometraje	3	15	Ajuste de dirección y mantenimiento	Quincenal	2	2	3	12
Lubricación	Desgaste excesivo de componentes	5	Falta de mantenimiento	1	Mantenimiento preventivo mensual y según kilometraje	2	10	Revisión y cambio de componentes	Quincenal	2	2	2	8

Nota. Información en base al análisis del mantenimiento realizado por la empresa

- Formatos y fichas para ⁶mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

El mantenimiento centrado en la confiabilidad es una metodología de gestión de mantenimiento utilizada en diversos sectores industriales para garantizar que los sistemas, equipos y activos operen de manera confiable y eficiente. El enfoque principal del MCC es maximizar ³la disponibilidad y la confiabilidad de los activos mientras se optimizan los costos y los recursos de mantenimiento. Una de sus herramientas más importantes es la hoja de decisión RCM, dado que permite determinar acciones propuestas en base a la problemática de los equipos y ello se presenta a continuación en la Figura 13.

Figura 13

Hoja de decisión RCM

Hoja de decisiones RCM								Área: Mantenimiento preventivo de equipos					
Equipo	Referencias de información			Evaluación de Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de	Tarea Propuesta	Intervalo Inicial (a=año, m=mes, s=semana, d=día)
								S1	S2	S3			
	O1	O2	O3										
	N1	N2	N3										
FB	FM	FA	H	S	E	O							
Medidor E1	X			X	X						Desgaste de piezas, mal mantenimiento	Mantt. Transmisión	1S
Medidor E2		X			X			X			Uso excesivo de batería	Mantt. Sist. Electrico	5D
Medidor E3					X			X			Desgaste de piezas, mal mantenimiento	Mantt. Transmisión	1S
Medidor E4		X			X	X	X	X		X	Falta de mantenimiento	Cambio de suspensión	4D
Medidor E5			X		X	X	X			X	Desgaste de piezas, mal mantenimiento	Mantt. Sist. Electrico	3D
Medidor E6	X					X	X			X	Golpes y daños	Mantt. Transmisión	5D
Medidor E7		X				X				X	Desgaste de piezas, mal mantenimiento	Mantt. Suspensión	1S
Medidor E8			X		X	X				X	Falta de mantenimiento	Mantt. Transmisión	4D
Medidor E9		X					X			X	Desgaste de piezas, mal mantenimiento	Cambio de suspensión	D
Medidor E10			X				X			X	Uso excesivo de batería	Mantt. Sist. Electrico	1S

Dónde: FB: Frecuencia baja, FM: Frecuencia media; FA: Frecuencia alta; H: Fallas ocultas; S: Fallas de seguridad y ambiente; O: Fallas operacionales; N: Fallas no operaciones

Nota: Información tomada de la empresa de estudio.

También ha sido necesario la elaboración de fichas y registros de mantenimiento con para el establecimiento de las buenas prácticas y mantener actualizada la información relacionada con los cambios en los equipos y los aspectos mejorados durante los trabajos de mantenimiento.

Figura 14

Hoja de registro de mantenimiento

HOJA DE REGISTRO DE MANTENIMIENTO		EP - 01
		FECHA:
TAG N°	DESCRIPCIÓN:	O.C:
		BOX N°
Fecha:	Tarea Ejecutada:	Nombre:
		Firma:
Comentario:		
Fecha:	Tarea Ejecutada:	Nombre:
		Firma:
Comentario:		
Fecha:	Tarea Ejecutada:	Nombre:
		Firma:
Comentario:		
Fecha:	Tarea Ejecutada:	Nombre:
		Firma:
Comentario:		

Nota: Información tomada de la empresa de estudio.

3 En la Figura 14 se puede observar un formato de la hoja de registro de mantenimiento, el cual fue una herramienta esencial para la documentación y registro de todas las actividades realizadas en los transformadores. En CBELECTRIC INDUSTRIAL SAC, su utilidad estuvo en la posibilidad de llevar un historial detallado de inspecciones, reparaciones y mediciones, con la cual se pudo simplificar el análisis de tendencias y toma de decisiones informadas.

Figura 15**Programa de mantenimiento preventivo**

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO			
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDAD	INTERVALO	DURACIÓN (minutos)	RESPONSABLE
Limpieza exterior	cada 2 semanas	60	Electricista
Comprobar vibracion y calentamientos anormales	cada 3 semanas	30	Electricista
Comprobar estado de rodamientos	cada 4 meses	60	Electricista
Comprobar carga	cada 4 meses	80	Electricista
Comprobar roses de cadenas poleas y bandas	cada 4 meses	60	Electricista
Limpieza general (interior-externo)	anual	120	Electricista
Comprobar conexiones	cada 3 meses	30	Electricista
Observar si hay presencia de humedad, aceite o grasa	semestral	10	Electricista
Probar resistencia de aislamientos y puesta a tierra	semestral	60	Electricista
Comprobar carga en vacio y en trabajo	trimestral	90	Electricista
Comprobar lubricacion y estado de rodamientos a detalle	anual	30	Electricista
Comprobar y equilibrar el rotor	anual	180	Electricista
Comprobar estado de carcasa, amares, conexiones, tornillos y tuercas de sugesion, etc.	anual	100	Electricista

Nota: Información tomada de la empresa de estudio.

En la Figura 15 se detalla el programa de mantenimiento preventivo en transformadores fue fundamental para garantizar su operatividad continua y prolongar su vida útil. Es por ello por lo que, en CBELECTRIC INDUSTRIAL SAC, se realizó una programación para la ejecución de inspecciones periódicas, en las cuales se realizaron limpieza de componentes, análisis de aceite dieléctrico, etc. con el fin de poder detectar fallas incipientes. La puesta en práctica de estas acciones permitió la reducción del riesgo de que ocurran paradas no programadas, así como de la optimización en el rendimiento energético y la reducción de costos asociados a reparaciones mayores.

Figura 16

Programa de mantenimiento correctivo

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO		
DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDAD	DURACIÓN (minutos)	RESPONSABLE
Desmontar el motor eléctrico	150	Electricista
Reparación de contactor eléctrico	40	Electricista
Sustitución de contactor eléctrico	15	Electricista
Alineamiento del eje de motor	120	Electricista
Cambio de terminales eléctricos sulfatados	30	Electricista
Barnizada de bobina del motor	60	Electricista
Retiro de rotor del motor eléctrico	80	Electricista
Fijación de soportes del motor eléctrico	30	Electricista
Prueba de corriente de vacío o sin carga	40	Electricista
Medir la tensión de alimentación, ajustar al valor correcto.	50	Electricista
Sustitución de las bobinas del rotor	90	Electricista
Cambio de rodamientos del motor	80	Electricista
Montaje de motor Eléctrico	150	Electricista

Nota: Información tomada de la empresa de estudio.

En la Figura 16 se detalla el programa de mantenimiento correctivo, este se aplicó a los transformadores una vez se presentaron las fallas o averías inesperadas. En CBELECTRIC INDUSTRIAL SAC, la ejecución de este tipo de mantenimiento sirvió para la restauración inmediata de los equipos, evitando impactos más graves en el proceso de producción. Si bien esta no es la estrategia preferida, su ejecución adecuada permitió reducir bastante los riesgos operativos, así como garantizar la continuidad del servicio.

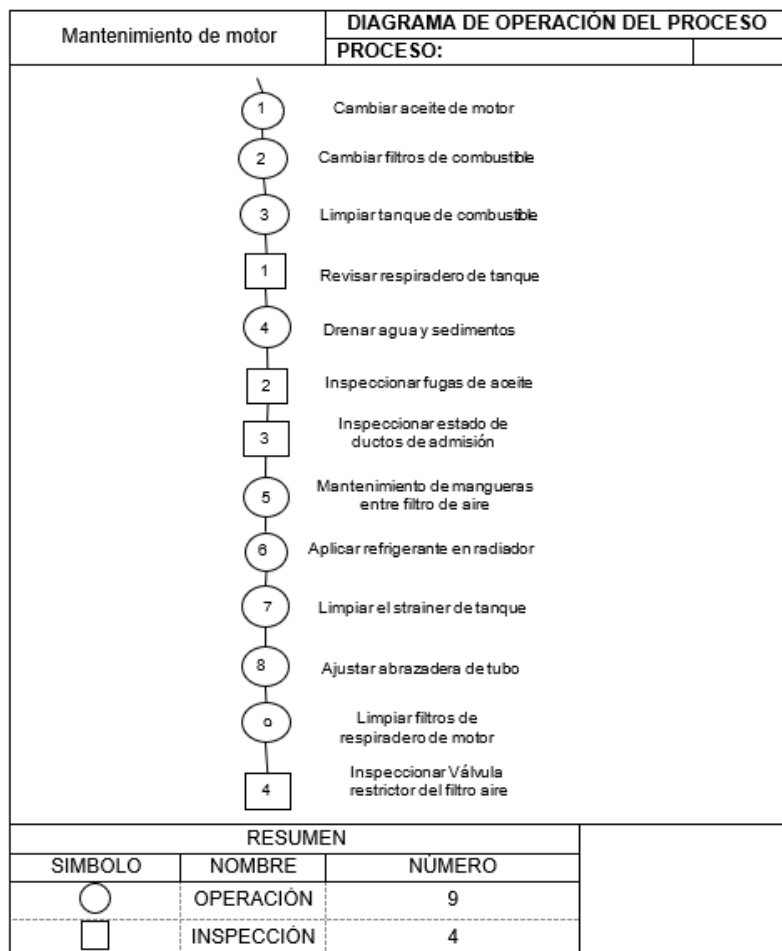
- Diagramas para operaciones de mantenimiento

Los Diagramas de Operaciones de Proceso (DOP) son instrumentos gráficos que se utilizan con frecuencia en las áreas de ingeniería química, industria de procesos entre otros afines y buscan representar visual y sistemáticamente las etapas de las que se compone un proceso industrial. Estos diagramas permiten la identificación sencilla de secuencias, recursos y posibles cuellos de botella, de forma que se facilita la optimización de los

procesos. Para el presente caso de estudio se elaboraron diagramas específicos que mostraban el mantenimiento del motor y del sistema eléctrico, con lo cual se buscaba mejorar la eficiencia de estas operaciones.

Figura 17

Diagrama de operaciones del proceso de mantenimiento de motor



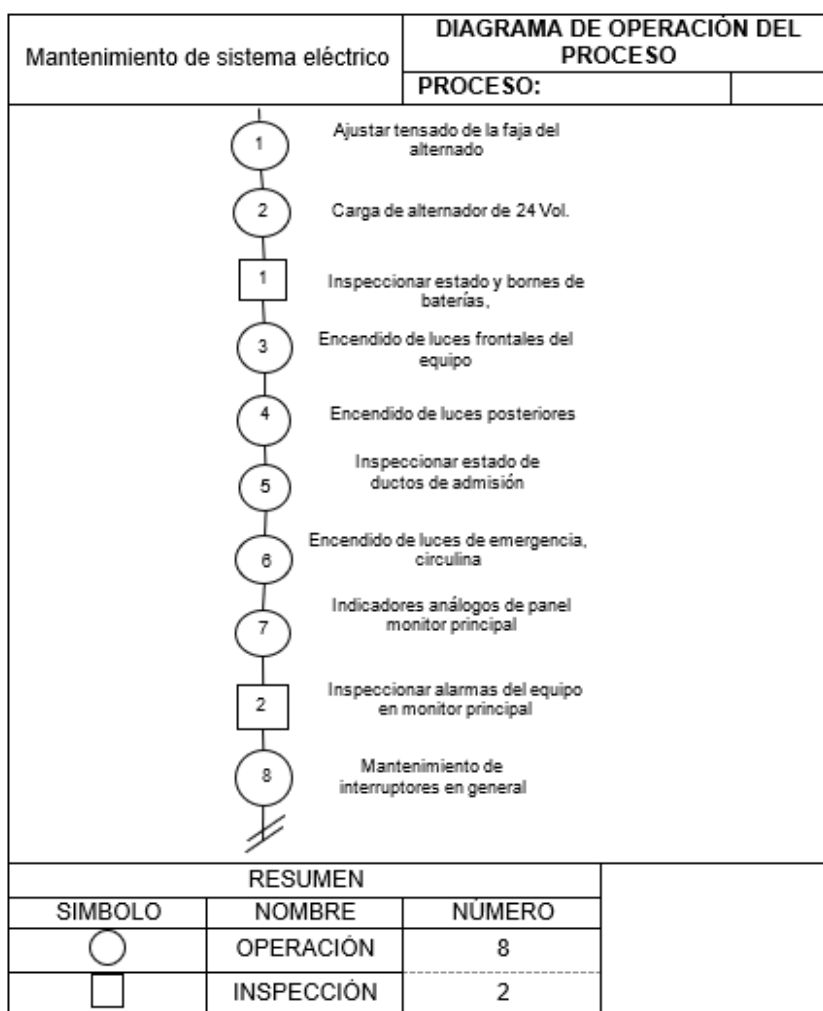
Nota: Información tomada de la empresa de estudio.

En la Figura 17 se detalla el proceso de mantenimiento del motor del transformador en CBELECTRIC INDUSTRIAL SAC se observa en el flujograma anterior, en donde se muestra la inclusión de la revisión de componentes críticos como rodamientos, bobinas y sistemas de enfriamiento. A su vez, se realizaron lubricaciones periódicas, mediciones de vibración y pruebas de aislamiento para la detección de desgastes. Estas actividades

permitieron el funcionamiento eficiente del motor y se evitó la ocurrencia de sobrecalentamientos y fallas eléctricas. De esta manera, el mantenimiento proactivo del motor fue esencial para asegurar la confiabilidad del transformador y para la reducción del riesgo de paradas no planeadas.

Figura 18

Diagrama de operaciones del proceso de mantenimiento de sistema eléctrico



³² **Nota:** Información tomada de la empresa de estudio.

En la Figura 18 se muestra el mantenimiento del sistema eléctrico del transformador en CBELECTRIC INDUSTRIAL SAC, este se representó gráficamente en el flujograma previo. En este, se observó la revisión de conexiones, aisladores y protecciones, asimismo se

realizaron pruebas de resistencia, termografías y verificaciones de ajustes para asegurar la integridad del sistema. Con la ejecución de estas actividades se pudo determinar puntos calientes o conexiones flojas que podrían haber generado fallas críticas. Así, el mantenimiento sistemático del sistema eléctrico aseguró que operara de forma eficiente el transformador.

Figura 19

Plan de trabajo de mantenimiento de equipo

PLAN DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS	
PROCEDIMIENTO DE TRABAJO	EP - 01
Tareas a realizar	Descripción de Revisiones
A	Asegúrese de que las etiquetas de mantenimiento estén colocadas e informe sobre cualquier daño en el equipo.
B	Asegúrese de que el nivel de aceite en los rodamientos lubricados con aceite sea el correcto.
C	Comprobar vibración y calentamiento anormales en los motores.
D	Comprobar lubricación y estado de rodamientos a detalle.
E	Comprobar roses de cadenas poleas y bandas.
F	Comprobar y equilibrar el rotor.
G	Re-engrase de rodamientos.
H	Observar si hay presencia de humedad, aceite o grasa.
I	Comprobar estado de carcasa, amares, conexiones, tornillos y tuercas de sujeción, etc.
J	Limpieza general (interior-exterior).
K	Motores: mida la resistencia de aislamiento de fase a tierra. Circuitos de 230V - megóhmetro de 500V mínimo 1 Minuto Circuitos de 690V - megóhmetro de 1000V mínimo 1 Minuto La resistencia de aislamiento de entre 1 y 50M.Ohms deberá ser informada.


Nota: Información tomada de la empresa de estudio.

En la Figura 19 se muestra el plan de trabajo de mantenimiento en CBELECTRIC INDUSTRIAL SAC tuvo como finalidad la organización y priorización de las actividades de mantenimiento de los transformadores. En esta se incluyeron cronogramas detallados, asignación de recursos disponibles y procedimientos ya estandarizados. Con su ejecución se

pudo optimizar el tiempo de los técnicos, reducir al máximo los costos operativos que se generaban y, finalmente, asegurar el nivel de disponibilidad de los equipos.

Figura 20

Ficha técnica de equipo

FICHA TÉCNICA DE EQUIPO	
EMPRESA: _____	O.C: _____
LOCACIÓN: _____	FECHA: _____
TAG: _____	BOX: _____
MARCA: <u>US MOTORS</u>	FRECUENCIA: <u>60 HZ</u>
N SERIE: <u>T111171420 - 0001</u>	N FASES: <u>3</u>
MODELO <u>171425</u>	RPM: <u>1775</u>
POTENCIA: <u>30 HP</u>	GRADO DE PROTECCIÓN: <u>IP 55</u>
TENSIÓN: <u>460 V</u>	FACTOR DE SERVICIO: <u>1.15</u>
CORRIENTE: <u>35.7 AMP</u>	FRAME: <u>326 T</u>
	
OBSERVACIONES	
TÉCNICO RESPONSABLE	SUPERVISOR RESPONSABLE

Nota: Información tomada de la empresa de estudio.

En la Figura 20 se presentó la ficha técnica de los transformadores en CBELECTRIC INDUSTRIAL SAC sirvió dentro del proceso de mantenimiento pues en esta se encontraba información detallada acerca de las especificaciones y características técnicas de cada uno de los equipos. Con esta información los técnicos pudieron realizar intervenciones más adecuadas a las necesidades que tenía cada transformador. Asimismo, contribuyó a la

planificación del mantenimiento y a realizar una correcta adquisición de repuestos para este fin.

- Supervisión de operaciones de mantenimiento

Dentro de esta sección, se elaboró un cronograma detallado de auditorías de mantenimiento en CBELECTRIC INDUSTRIAL SAC, con las cuales se pudo llevar a cabo una evaluación sobre la efectividad de los procesos de mantenimiento realizados. Estas auditorías permitieron encontrar áreas de mejora, corroborar el cumplimiento de estándares establecidos y asegurar la calidad de las intervenciones. Asimismo, posterior a la implementación permitió la implantación de una cultura de transparencia y mejora continua que velaba por la optimización de recursos y, así, el incremento en el nivel de confiabilidad de los equipos. En este sentido, se presenta la Figura 21 con el cronograma.

Figura 21

Cronograma de auditoria

PROGRAMA DE AUDITORIAS																		
N°	Tipo de auditoria	Objetivos	Principio	Meses												Observaciones		
				Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12			
1	Auditoria interna en disponibilidad de volquetes	Se evaluará el desarrollo de los procesos para cada el MTBF y MTTR	Servicio de calidad con la menor cantidad de interrupciones															
2	Auditoria interna en RCM	Se evaluará la seguridad de los pasos a seguir para el proceso la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad	Tareas del mantenimiento															
			Confiabilidad del proceso															
			Análisis de gravedad															
			Análisis de frecuencia															
			Análisis de detección															
			Control de calidad															
			Cumplimiento del proceso de mantenimiento															
3	Auditoria en Mejora continua	Evaluar el cumplimiento de las propuestas	Base en los lineamientos para la calidad del proceso															

Criterios de auditoria:

- 1.- Las áreas y actores de proceso a auditar están sujetas a lo previsto en los procedimientos documentados de cada proceso
- 2.- Los días de realización de las auditorias internas, se confirmarán a través del plan de auditoria.



Nota: Información tomada de la empresa de estudio.

Figura 22

Formato de supervisión de mantenimiento

FORMATO DE SUPERVISIÓN DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO											
Código: ANSV-TIC-FO-02				VERSIÓN: 001				Fecha: 2021-03-16			
Nombre											
1. DATOS DEL EQUIPO											
Marca			Proveedor			Modelo					
2. CONFIGURACION											
3. MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS											
Mantenimiento											
Fecha Realización			Realizó			Aceptación Empresa					
Observaciones						Firma					
						Nombre:					
Mantenimiento											
Fecha Realización			Realizó			Aceptación Empresa					
Observaciones						Firma					
						Nombre:					
Mantenimiento											
4. Ubicación Actual											
Usuario Responsable			Ubicación dentro de la Empresa			Fecha			Firma Responsable		
						DD / MM / AAAA					
5. RECOMENDACIONES Y/O OBSERVACIONES											

Nota: Información tomada de la empresa de estudio.

En la Figura 22 se presentó el formato de supervisión de mantenimiento en CBELECTRIC INDUSTRIAL SAC se utilizó para el control adecuado de las actividades que se llevaban a cabo. Este documento corroboraba que todas las actividades se ejecutaran siguiendo los procedimientos ya establecidos y que, posteriormente, se realizara un registro adecuado de ellos. De esta manera facilitó la identificación de posibles desviaciones e implementación de acciones correctivas en caso fuera necesario.

Figura 23

Formato de protocolo de pruebas

PROTOCOLO DE PRUEBAS																										
CLIENTE :	FECHA : 6/09/2022																									
LUGAR :	P.O. : 4-0706-02-P/A3SP100298																									
TAG : 1325-FL-C2801-M001	LOC.: R21																									
BOX: F2																										
MARCA : US MOTORS	FRECUENCIA : 60 HZ																									
N° SERIE : T.01.7511958 - 0006 R 0001	N° FASES : 3 ~																									
FRAME : 445 TC	RPM : 1785																									
POTENCIA : 150 HP	GRADO DE PROTECCION : 0																									
TENSION : 460 V	FACTOR DE SERVICIO : 1.15																									
CORRIENTE : 171A																										
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO																										
Temp Amb: 18.0 °C	Humedad % : 67.8%																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>DESCRIPCION</th> <th>Tension Prueba</th> <th>MΩ @ 15 Seg.</th> <th>MΩ @ 1 Minuto</th> <th>MΩ @ 10Minutos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>R- S</td> <td>0.50 KV</td> <td></td> <td></td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>R - T</td> <td>0.50 KV</td> <td></td> <td></td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>S - T</td> <td>0.50 KV</td> <td></td> <td></td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>RST - G</td> <td>0.50 KV</td> <td>1.93 GΩ</td> <td>7.74 GΩ</td> <td>25.60 GΩ</td> </tr> </tbody> </table>		DESCRIPCION	Tension Prueba	MΩ @ 15 Seg.	MΩ @ 1 Minuto	MΩ @ 10Minutos	R- S	0.50 KV			-	R - T	0.50 KV			-	S - T	0.50 KV			-	RST - G	0.50 KV	1.93 GΩ	7.74 GΩ	25.60 GΩ
DESCRIPCION	Tension Prueba	MΩ @ 15 Seg.	MΩ @ 1 Minuto	MΩ @ 10Minutos																						
R- S	0.50 KV			-																						
R - T	0.50 KV			-																						
S - T	0.50 KV			-																						
RST - G	0.50 KV	1.93 GΩ	7.74 GΩ	25.60 GΩ																						
R 40°C =																										
Instrumento : MEGOMETRO DIG.	Escala Max (500VDC) : 5 KV																									
Marca: MEGABRASS	Modelo: MD5060X																									
	Serie: 14K2419																									
VALOR DE RESISTENCIA :																										
IP : BUENO																										
DAI : EXCELENTE																										
TECNICO RESPONSABLE:	SUPERVISOR RESPONSABLE:																									

Nota: Información tomada de la empresa de estudio.

En la Figura 23 se presentó el protocolo de pruebas de mantenimiento en CBELECTRIC INDUSTRIAL SAC que sirvió para la validación del estado de los transformadores luego de una intervención. Dentro de esta se consideraban actividades tales como las pruebas de resistencia, aislamiento, relación de transformación, análisis de aceite, etc. Estas pruebas permitieron un mantenimiento adecuado de los equipos de forma que se encontrasen en condiciones óptimas antes de que empezaran a funcionar, reduciendo la posibilidad de que ocurran fallas posteriores.

2.3. Resultados

Los resultados posteriores que se obtuvieron en CBELECTRIC INDUSTRIAL SAC se enfocaron en la evaluación de impacto de las estrategias del mantenimiento RCM que se implementaron durante el 2024. Mediante el análisis de los indicadores clave como el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), el Tiempo Medio para Reparaciones (MTTR) y la disponibilidad operativa, se busca mostrar cuáles fueron las mejoras alcanzadas tanto en la eficiencia y fiabilidad de los equipos. A continuación, se observan los indicadores en la Tabla 5.

Tabla 5

Datos de disponibilidad (posterior)

Periodo	Tiempo medio entre fallas			Tiempo medio para reparaciones			Disponibilidad
	Tiempo de funcionamiento	Nº fallos	MTBF	Tiempo de inactividad	Nº fallos	MTTR	
ene-24	5251	71	74.0	329	71	4.63	94.1%
feb-24	4932	69	71.5	288	69	4.17	94.5%
mar-24	5305	75	70.7	275	75	3.67	95.1%
abr-24	5149	67	76.9	251	67	3.75	95.4%
may-24	5370	59	91.0	210	59	3.56	96.2%
jun-24	5218	56	93.2	182	56	3.25	96.6%
jul-24	5447	50	108.9	133	50	2.66	97.6%
ago-24	5455	45	121.2	125	45	2.78	97.8%
sep-24	5283	42	125.8	117	42	2.79	97.8%
oct-24	5468	35	156.2	112	35	3.20	98.0%
nov-24	5285	38	139.1	115	37	3.11	97.8%
dic-24	5477	31	176.7	103	31	3.32	98.2%
Promedio	5303.3	53.2	108.8	186.7	53.1	3.41	96.6%

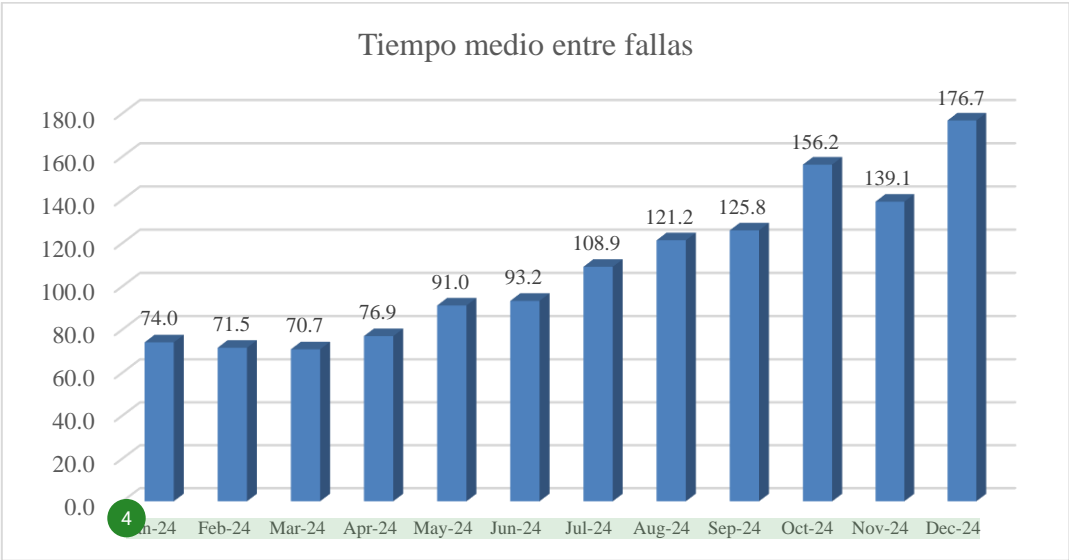
Nota. Información proporcionada por la empresa

En la Tabla 5 se observa en el valor promedio que el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), Tiempo Medio para Reparaciones (MTTR) y disponibilidad gozaron de una mejora significativa en cuanto a la gestión del mantenimiento para 2024. Con un MTBF promedio de 5303.3 horas, se puede mencionar que hubo mayor fiabilidad en los equipos, sugiriendo

unas intervenciones de mantenimiento más efectivas para la reducción de la ocurrencia de fallas. Por otro lado, el MTTR promedio de 53.2 horas indica que se redujo drásticamente el tiempo requerido para realizar reparaciones, permitiendo a los equipos volver a trabajar de forma más rápida, logrando un menor tiempo de inactividad a su vez. La disponibilidad promedio del 96.6% es un indicador clave que muestra la efectividad de la aplicación del mantenimiento RCM que se implementó. Mediante este enfoque se pudieron identificar y trabajar en base a las causas raíz de las fallas, mejorando la eficiencia operativa y garantizando que los equipos puedan estar disponibles para la producción en la mayor parte del tiempo. Tomando a todos estos indicadores en conjunto, se puede decir que la implementación del RCM fue bastante efectiva, contribuyendo a una operación más competitiva dentro del sector.

Figura 24

Evolución del tiempo medio entre fallas (posterior)



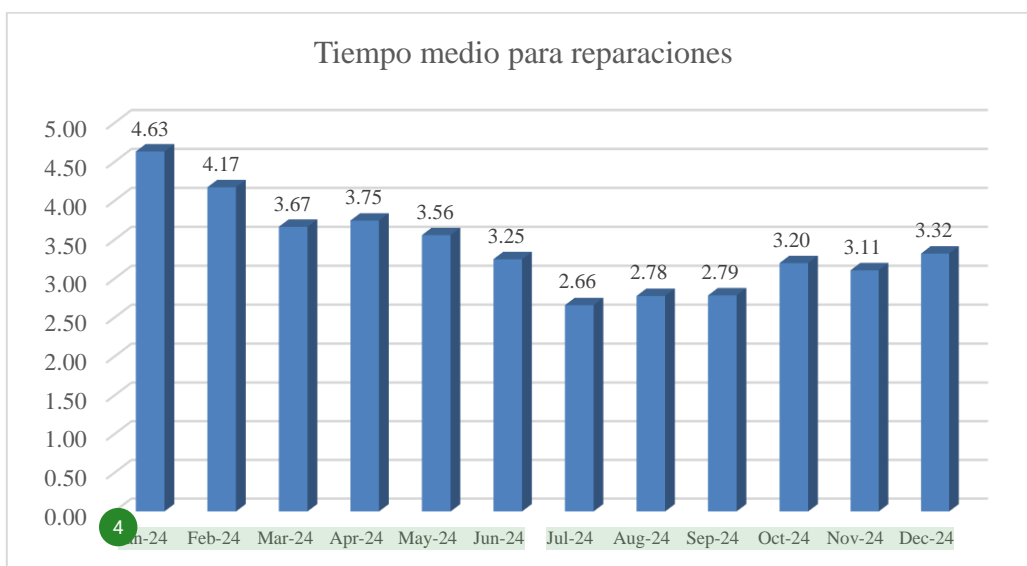
Nota. Información proporcionada por la empresa

En la Figura 24 se muestra el desempeño del Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) a lo largo del 2024 que evidencia una tendencia creciente. Comenzando con un MTBF de 74.0 horas en enero, se observa una fluctuación en los meses siguientes, alcanzando un mínimo de 70.7 horas en marzo. Sin embargo, a partir de marzo, el MTBF comienza a recuperarse, alcanzando un máximo de 176.7 horas en diciembre y este aumento sugiere que las

intervenciones de mantenimiento implementadas han tenido un impacto positivo en la fiabilidad de los equipos. A lo largo del año, el promedio de MTBF se sitúa en 108.8 horas, lo que indica que, en general, los equipos están funcionando de manera más eficiente y con menos interrupciones. Esta mejora del indicador muestra que las estrategias de mantenimiento que se implementaron están logrando incrementar la eficiencia con la que trabaja la empresa.

Figura 25

Evolución del tiempo medio para reparaciones (posterior)

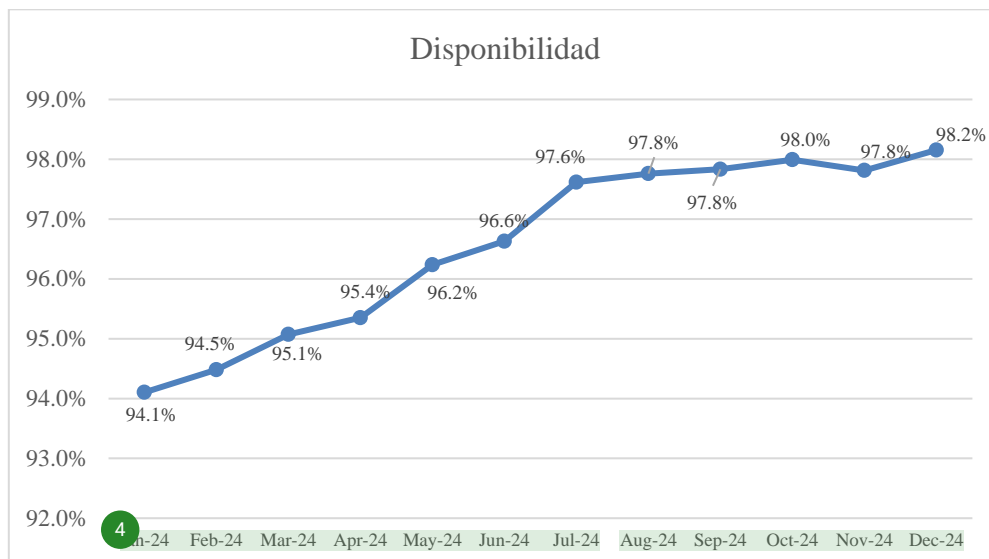


Nota. Información proporcionada por la empresa

En la Figura 25 se muestra la evolución del Tiempo Medio para Reparaciones (MTTR) en CBELECTRIC INDUSTRIAL SAC que mostró una mejora significativa para el período 2024. Comenzando con un MTTR de 4.63 horas en enero, se observa una tendencia a la baja, alcanzando un mínimo de 3.32 horas en diciembre. Este descenso en el MTTR fue una señal de una mejora en los procesos de mantenimiento que permitió ejecutar reparaciones más eficientes. A lo largo del año, el promedio de MTTR se sitúa en 3.41 horas, con lo que se muestra una reducción significativa en el tiempo destinado al mantenimiento de los equipos para mantenerlos funcionando. Esta mejora logró que la empresa goce de una mayor disponibilidad de los equipos, a la vez que permitió un uso más eficiente de los recursos disponibles con lo cual su fuerza laboral se pudo destinar a otras labores importantes.

Figura 26

Evolución de la disponibilidad (posterior)



Nota. Información proporcionada por la empresa

2 En la Figura 26 se presentó la evolución de la disponibilidad operativa en CBELECTRIC INDUSTRIAL SAC que evidenció una tendencia al alza para todo el 2024, empezando en un 94.1% en enero y alcanzando un notable 98.2% en diciembre. Este incremento de la disponibilidad es un reflejo de las mejoras paralelas implementadas en el mantenimiento y que mejoraron los otros indicadores. A lo largo del año, el promedio de disponibilidad se sitúa en 96.6%, señalando que los equipos se mantuvieron operativos durante grandes períodos de tiempo. Esta mejora en la disponibilidad contribuye a que la empresa tenga una mayor eficiencia operativa durante la ejecución de sus procesos, con lo cual le permite completar los encargos a sus clientes de manera exitosa. De esta manera, se puede observar que el incremento de la disponibilidad es un indicador de éxito de las iniciativas ejecutadas en el proceso de mantenimiento su importancia en la competitividad de la empresa en el mercado.

5 Adicionalmente, en la Tabla 6 se presenta el análisis comparativo de los indicadores más relevantes en el escenario previo a la implementación del RCM y posterior a ello.

Tabla 6

Análisis comparativo de indicadores

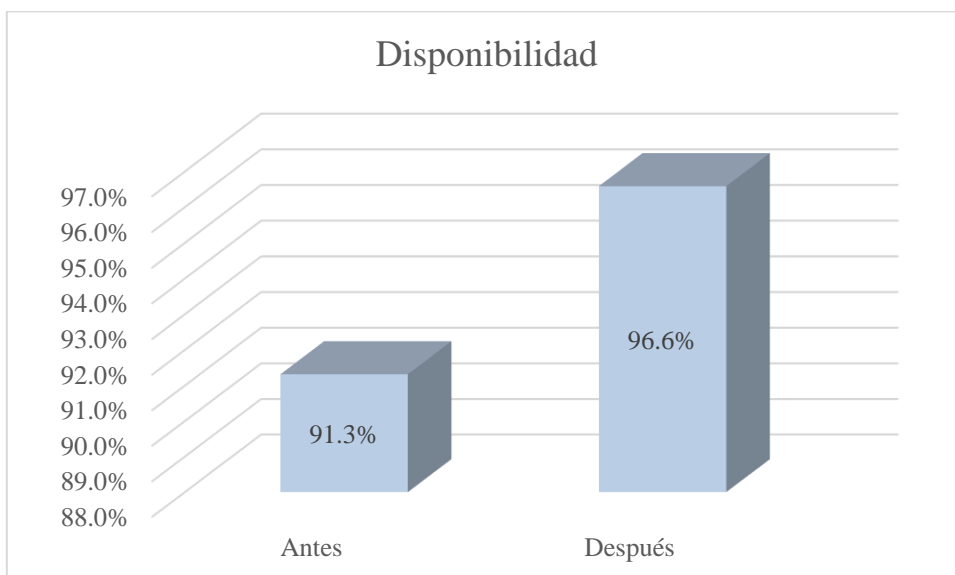
Indicador	Antes	Después	Diferencia
N° fallos (cantidad)	84.3 fallos	53.1 fallos	-31.3 fallos
Tiempo de funcionamiento (horas)	4999.1 horas	5303.3 horas	304.3 horas
Tiempo medio entre fallas (horas)	59.8 horas	108.8 horas	49.0 horas
Tiempo de inactividad (horas)	475.9 horas	186.7 horas	-289.3 horas
Tiempo medio para reparaciones (horas)	5.61 horas	3.41 horas	-2.2 horas
Disponibilidad (porcentaje)	91.3%	96.6%	5.3%

Nota. Información proporcionada por la empresa

En la Tabla 6 de la comparativa de indicadores se puede observar de forma más evidente las mejoras alcanzadas en la gestión del mantenimiento. Al analizar los datos, se observa que hubo una reducción significativa en el total de fallas, que pasó de 84.33 a 53.1, representando una disminución de 31.3%. Esta reducción muestra la efectividad de las mejoras en el mantenimiento que se implementaron, puesto que a menor cantidad de fallas hay una mayor fiabilidad en los equipos. Asimismo, el tiempo de funcionamiento se incrementó en 304.3 horas, pasando de 4999.1 a 5303.3 horas, reflejando una mejora en el tiempo de operatividad de los equipos de la empresa. En cuanto al Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) también hubo mejoras notables, puesto que pasó de 59.8 a 108.8 horas, señalando que los equipos funcionan durante mayores períodos de tiempo antes de empezar a experimentar desperfectos. Asimismo, el ² Tiempo Medio para Reparaciones (MTTR) se redujo de 5.61 a 3.41 horas, mostrando una mayor eficiencia en las labores de reparación de las máquinas. Finalmente, la disponibilidad también mejoró al incrementarse de 91.3% a 96.6%, evidenciando una mejora general en el nivel de operatividad de la empresa. Estos resultados demuestran la utilidad y eficacia de la implementación del RCM ⁴⁹ y su contribución a la mejora de los procesos de producción en toda la organización.

Figura 27

Análisis comparativo de disponibilidad



Nota. Información proporcionada por la empresa

En la Figura 27 se evidenció el aumento de la disponibilidad operativa en CBELECTRIC INDUSTRIAL SAC, que pasó del 91.3% al 96.6% tras la implementación del mantenimiento RCM, muestra cómo han mejorado tanto la eficiencia como la efectividad de los procesos relacionados con el mantenimiento. El incremento de 5.3% que presenta se traduce en un mayor tiempo de operatividad de los equipos, lo que a su vez se traduce en una mayor capacidad de producción y un menor tiempo total de pausas e interrupciones operativas. Una mayor disponibilidad garantiza que la empresa utilice de forma óptima sus recursos, al reducir el tiempo de inactividad, así como los costos asociados al mantenimiento correctivo. Este resultado resalta de forma más evidente la efectividad que tuvo el enfoque RCM y su importancia al identificar y abordar las causas raíz de las fallas.

Conclusiones

En primer lugar, se concluyó que la situación inicial de la disponibilidad de los equipos fue deficiente, a su vez se encontró una disponibilidad promedio de 91.3%, que se debe a un tiempo medio entre fallas de 59.8 horas y un tiempo medio de reparaciones en promedio de 5.61 horas. Con estos datos se pudo identificar ciertas alternativas de mejora para el funcionamiento de equipos.

En segundo lugar, se concluyó que se logró realizar un diseño adecuado que permitió ejecutar adecuadamente la aplicación del RCM. En primer lugar, se realizó el análisis modal de fallas y efectos para determinar las acciones pertinentes; en segundo lugar, se desarrollaron formatos y fichas para el mantenimiento centrado en la confiabilidad; en tercer lugar, se generaron diagramas de operaciones de mantenimiento y un plan de trabajo y; en cuarto lugar, se presentó la supervisión de operaciones de mantenimiento.

En tercer lugar, se concluyó que se determinaron los resultados con relación a la disponibilidad de equipos luego de la implementación de la propuesta en base al RCM, lo cual evidenció un funcionamiento adecuado de los equipos con mejores indicadores, en tanto que se logró una disponibilidad de 96.6%, lo cual se debe a un tiempo medio entre fallas (MTBF) de 108.8 horas y un tiempo medio de reparaciones en promedio de 3.41 horas.

A nivel general, se concluyó que se incrementó la disponibilidad en un promedio de 91.3% a 96.6% de equipos a través de la implementación de la metodología RCM en la empresa CBELECTRIC INDUSTRIAL SAC, Lima, 2025, ello se debe a un incremento del MTBF de 59.8 a 108.8 horas y una reducción del MTTR de 5.61 a 3.41 horas; asimismo, la cantidad de fallos se redujo de 84.3 a 53.1 en promedio.

3 **Recomendaciones**

Se recomienda a la Gerencia de Operaciones desarrollar un sistema que realice un monitoreo continuo del nivel de disponibilidad que tienen los equipos a través del uso de herramientas de análisis predictivo. Con esto se podrán identificar ciertas tendencias y posibles fallas antes de su ocurrencia, manteniendo los indicadores de MTBF y MTTR en niveles óptimos. Asimismo, se sugiere realizar capacitaciones a los trabajadores en técnicas avanzadas de diagnóstico para garantizar una evaluación precisa de los equipos.

Se recomienda a la Gerencia General realizar una revisión continua del plan de mantenimiento RCM, en donde se incorporen tecnologías nuevas y modernas. Además, debe priorizarse los procesos de estandarización de los formatos y la digitalización de diagramas de operaciones. Adicionalmente, se sugiere la aplicación de auditorías internas que comprueben el cumplimiento de todos los nuevos procedimientos.

Se recomienda al Jefe de Mantenimiento la implementar de un programa de mantenimiento preventivo siguiendo los nuevos indicadores de MTBF y MTTR, con el fin de lograr mantener y, de ser posible, mejorar los resultados obtenidos. Resulta importante también realizar capacitaciones a todo el personal técnico en metodologías RCM con el fin de mantenerlos al día con los nuevos cambios y actualizaciones. También se realizó una sugerencia respecto a la implementación de un sistema de incentivos que pueda incrementar la eficiencia de las reparaciones.

Se recomienda a la Gerencia de Operaciones expandir la aplicación del RCM a equipos críticos adicionales, aplicando la experiencia que se obtuvo con los transformadores. De esta manera, se logrará homogenizar todos los procesos de mantenimiento de estos equipos y mejorar la confiabilidad operativa a nivel global. Además, se propuso registrar mediante documentación todas las buenas prácticas adicionales de modo que otras áreas de la empresa también implementen una cultura de mantenimiento caracterizada por su proactividad.

Referencias

- Acuña Acuña, J. (2022). *Ingeniería de confiabilidad*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. ISBN: 9789977664866.
- Ahmed, M. (2020). The use of performance-based contracting in managing the outsourcing of a reliability-centered maintenance program: A case study. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 26 (4), 526-554. doi:<https://doi.org/10.1108/JQME-02-2018-0007>
- Akl, A., El Sawah, S., Chakraborty, R., & Turan, H. (2022). A Joint Optimization of Strategic Workforce Planning and Preventive Maintenance Scheduling: A Simulation–Optimization Approach. *Reliability Engineering & System Safety* Vol 219, 108175. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.108175>
- Akpan, W., Beshel, S., Effeng, N., & Akpan, K. (2023). Availability and Reliability Indices: A practical Approach for Afam thermal Plant Assessment and Improvement. *Engineering And Technology Journal* 8 (11), 3002–3010. doi:<https://doi.org/10.47191/etj/v8i11.09>
- Andrade, C., & Herrera, M. (2021). Análisis de la situación actual del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación* 4 (8), 2-18. <https://doi.org/10.46296/ig.v4i8.0021>.
- Avila Reyes, J. (2022). *Mejora de la gestión de mantenimiento en cosechadoras con enfoque RCM para incrementar su disponibilidad en una empresa agroindustrial (Tesis de titulación)*. Universidad César Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/100688>
- Campos, O., Tolentino, G., Toledo, M., & Tolentino, R. (2019). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. *Revista Científica del Instituto Politécnico Nacional* 23 (1), 2-16. Obtenido de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/614/61458265006/61458265006.pdf>
- Chen, Y., Mu, Z., Wang, H., & Zhang, G. (2024). Reliability-centered availability collaborative optimization allocation approach for machine tools. *Engineering*

Applications of Artificial Intelligence Vol 137, 109204.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.109204>

- Espinosa Martinez, J., De La Paz Martinez, E., Perez Bermudez , R., & Acosta Perez, I. (2020). Contribución del mantenimiento centrado en la confiabilidad para el estudio de fallos a equipos consumidores de energía eléctrica. *Revista Centro Azucar 47 (1)*, 22-32. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v47n1/2223-4861-caz-47-01-22.pdf>
- Fernandez, I. (2020). *Seguridad funcional en instalaciones de proceso: sistemas instrumentados de seguridad y analisis SIL*. Barcelona, España: Ediciones Diaz de Santos.
- García , I. (2022). *Anatomía de sistemas: Su análisis y su apoyo*. Diaz Santos.
- Gholami, J., Razavi, A., & Ghaffarpour, R. (2022). Decision-making regarding the best maintenance strategy for electrical equipment of buildings based on fuzzy analytic hierarchy process; case study: elevator. *Journal of Quality in Maintenance Engineering 28 (3)*, 653-668. doi:<https://doi.org/10.1108/JQME-03-2020-0015>
- Gonzalez, F., & Fuentes, J. (2021). *Sistemas ferroviarios: planificación, ingeniería y explotación*. Editorial UNED.
- Guerrero Medina, C., Álvarez Luján, B., Arévalo Daza, J., & Calla Delgado, V. (2021). Propuesta técnica de mejora en la planificación del mantenimiento preventivo de la flota de cargadores Komatsu WA800-3EO en la mina Bayóvar. *INGnosis 1 (1)*, 22–40. doi:<https://doi.org/10.18050/ingnosis.v1i1.1905>
- Jackson, P. (2021). Joint pricing and maintenance strategies in availability-based product-service systems under different overhaul conditions. *Reliability Engineering & System Safety*, 107817. doi:<https://doi.org/10.1016/j.res.2021.107817>
- Jakkula, B., Mandela, G., & Chivukula, S. (2022). Reliability, availability and maintainability (RAM) investigation of Load Haul Dumpers (LHDs): a case study. *Int J Syst Assur Eng Manag 13*, 504–515. doi:<https://doi.org/10.1007/s13198-021-01154-3>
- Jimenez Acuña, J., & Díaz Ramirez, C. (2022). *Implementación de un programa de mantenimiento bajo la metodología RCM para aumentar la disponibilidad de los motores QSB 6.7 de la flota de terminals truck de la empresa APM Terminals (Tesis*

- de titulación*). Universidad Tecnológica del Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12867/7284>
- Jiménez, F. (2021). *Mantenimiento preventivo de sistemas de automatización industrial. ELEM0311*. IC Editorial.
- Karajagikar, J., & Sonawane, B. (2021). Reliability-Centered Maintenance (RCM) Approach for a Process Industry: Case Study. *Optimization Methods in Engineering N°418*, 429-442. doi:https://doi.org/10.1007/978-981-15-4550-4_26
- Khasanah, R., Sodikin, I., Penirewod, A., Rachmad, B., & Pratama, N. (2021). The Reliability-Centered Maintenance (RCM) effect on plant availability and downtime loss in the process industry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Vol 1072*, 1-9. doi:[doi:10.1088/1757-899X/1072/1/012054](https://doi.org/10.1088/1757-899X/1072/1/012054)
- Lei, Z., Jiang, P., Wang, Q., Yao, R., & Zhu, M. (2022). Study of the Reliability of Actuator Group System for FAST. *Journal of Mechanical Engineering 58 (6)*, 1-12. doi:[10.3901/JME.2022.06.289](https://doi.org/10.3901/JME.2022.06.289)
- Linares, V. (2020). *Diagnosis de averías y mantenimiento correctivo de sistemas de automatización industrial*. IC Editorial.
- Maharani, I., Atmaji, F., & Nopendri, N. (2019). Proposal of maintenance policy on BARMAG FK6800 machine in FT3 PT XYZ using Reliability Centered Maintenance and risk based maintenance method. *Atlantis Highlights in Engineering (AHE) Vol 2*, 136-139. doi:[10.2991/icoiese-18.2019.24](https://doi.org/10.2991/icoiese-18.2019.24)
- Medialdea, J., & Corrales, B. (2022). *Operaciones auxiliares de mantenimiento de instalaciones maquinaria, equipos y herramientas de floristería*. Editorial ELEARNING S.L.
- Muñoz García, S. (2022). *Mantenimiento preventivo de instalaciones caloríficas. IMAR0408*. IC Editorial.
- Osman, K., & Alajbeg, T. (2021). Reliability and Availability Methodology in Cooling Plant Maintenance. *6th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech)*, 1-10. doi:[DOI: 10.23919/SpliTech52315.2021.9566382](https://doi.org/10.23919/SpliTech52315.2021.9566382)
- Palei, S., Das, S., & Chatterjee, S. (2020). Reliability-Centered Maintenance of Rapiar Dragline for Optimizing Replacement Interval of Dragline Components. *Mining,*

Metallurgy & Exploration Vol 37, 1121–1136. doi:<https://doi.org/10.1007/s42461-020-00226-5>

- Patil , S., & Bewoor, A. (2022). Optimization of maintenance strategies for steam boiler system using reliability-centered maintenance (RCM) model – A case study from Indian textile industries. *International Journal of Quality & Reliability Management* 39 (7), 1745-1765. doi:<https://doi.org/10.1108/IJQRM-07-2021-0216>
- Peñafiel , J., Arteaga , Á., & Daquinta Gradaille , A. (2021). Mantemiento Centrado en la Confiabilidad RCM caso de aplicación de máquina empacadora de atún en latas. *INGENIAR 4* (8), 43-57. doi:<https://doi.org/10.46296/ig.v4i8edespdic.0050>
- Ramirez, M., Viscaino, P., & Mera , A. (2018). Evaluación de un sistema de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad. *Polo del conocimiento 3* (17), 148-156. Obtenido de <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/635/pdf>
- Rivas, M. (2020). *Mantenimiento de sistemas de refrigeración y lubricación de los motores térmicos*. Editorial Elearning.
- Romero, L. (2022). *Gestión del mantenimiento de instalaciones de energía eólica*. Ediciones Paraninfo S.A.
- Szkoda, M., Kaczor, G., Pilch, R., Smolnik, M., & Konieczek, Z. (2021). Assessment Of The Influence Of Preventive Maintenance On The Reliability And Availability Indexes Of Diesel Locomotives. *Transport Problems 16* (1), 5-18. doi:10.21307/tp-2021-001
- Serrano Basilio, F. (2024). *Plan de mantenimiento RCM para incrementar la disponibilidad de los Scooptrams R1300G en la Unidad Minera Yauricocha - Empresa Corimayo (Tesis de Titulación)*. Universidad Nacional del Centro del Perú. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12894/11812>
- Talkit, V., Kininge, R., Kokate, P., Narkhede, D., Madame, S., Bewoor, A., & Patil, R. (2023). Reliability analysis of repairable and replaceable system: Dairy product industry. *Materials Today 77* (3), 573-578. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.10.074>
- Uribe, S. (2020). Aplicación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de la máquina remalladora de una empresa textil. *Ingeniería Industrial N° 038*, 15-31. doi:<https://doi.org/10.26439/ing.ind2020.n038.4812>

- Vallencillos Jiménez, M. (2021). *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo Otto*. Editorial ELEARNING S.L.
- Yang, X., He, Y., Zhou, D., & Zheng, X. (2022). Mission reliability-centered maintenance approach based on quality stochastic flow network for multistate manufacturing systems. *Eksplatacja i Niezawodnosc* 24 (3), 455-467. doi:10.17531/ein.2022.3.7
- Yang, Y., Yin, X., Jie, Z., Wang, G., He, Y., Wu, Y., & Li, J. (2020). Applying Reliability Centered Maintenance (RCM) to Sampling Subsystem in Continuous Emission Monitoring System. *IEEE Access Vol 8*, 55054-55062. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9035404>.
- Zakikhani, K., Nasiri, F., & Zayed, T. (2020). Availability-based reliability-centered maintenance planning for gas transmission pipelines. *International Journal of Pressure Vessels and Piping Vol 183*, 104105. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2020.104105>
- Zeng, Q., Liu, W., Wan, L., Wang, C., & Gao, K. (2020). Maintenance Strategy Based on Reliability Analysis and FMEA: A Case Study for Hydraulic Cylinders of Traditional Excavators with ERRS. *Mathematical Problems in Engineering Vol 2020*, 2908568. doi:<https://doi.org/10.1155/2020/2908568>

Anexos

Anexo 1 Carta de autorización de la empresa



CBELECTRIC INDUSTRIAL S.A.C.
Lima – Perú
Teléf.: 928320743
E-mail: cbelectricsac@gmail.com



CARTA DE APROBACIÓN DE LA INSTITUCIÓN PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

CBELECTRIC INDUSTRIAL S.A.C.
Instalaciones Eléctricas

01 de febrero 2025

A quien corresponda:

Por medio de la presente, yo Ortega Alarcón, Francisco, en mi calidad de Gerente General de la empresa de servicios **CBELECTRIC SAC**. Con ruc: 20607248461 autorizo al bachiller Arteaga Almerco, Alí, identificado con DNI: 46223024, estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial y de Gestión Empresarial de la Universidad Norbert Wiener para que haga uso de la información de nuestra empresa con fines académicos, en el marco de su trabajo de investigación que lleva como título "Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para mejorar la disponibilidad operativa de los equipos en la empresa **CBELECTRIC INDUSTRIAL SAC**, Lima, 2025.". La autorización se otorga bajo las siguientes condiciones:

- La información proporcionada será utilizada exclusivamente con fines académicos y de investigación.
- Se mantendrá la confidencialidad de los datos sensibles de la empresa. El estudiante se compromete a compartir los resultados de su investigación con nuestra organización una vez finalizado el trabajo.
- La publicación o divulgación de la información obtenida deberá contar con la aprobación previa de la empresa **CBELECTRIC SAC**.

Esta autorización es válida desde la fecha de emisión hasta el 31 de enero del 2026.

Atentamente.

CBELECTRIC INDUSTRIAL S.A.C.

FRANCISCO ORTEGA ALARCÓN
GERENTE GENERAL

Anexo 2 Imágenes del trabajo de campo en mantenimiento





● 13% de similitud general

Principales fuentes encontradas en las siguientes bases de datos:

- 11% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 9% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

FUENTES PRINCIPALES

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	repositorio.uwiener.edu.pe Internet	2%
2	repositorio.upn.edu.pe Internet	2%
3	repositorioacademico.upc.edu.pe Internet	1%
4	coursehero.com Internet	<1%
5	Universidad Continental on 2023-11-13 Submitted works	<1%
6	repositorio.ucv.edu.pe Internet	<1%
7	www2.arts.ubc.ca Internet	<1%
8	Universidad Continental on 2023-11-13 Submitted works	<1%

9	Universidad Católica San Pablo on 2024-10-29 Submitted works	<1%
10	hdl.handle.net Internet	<1%
11	repositorio.usmp.edu.pe Internet	<1%
12	uwiener on 2025-05-06 Submitted works	<1%
13	Universidad Internacional de la Rioja on 2021-09-02 Submitted works	<1%
14	slideshare.net Internet	<1%
15	Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC on 2023-1... Submitted works	<1%
16	upc.aws.openrepository.com Internet	<1%
17	Universidad Continental on 2022-11-13 Submitted works	<1%
18	uwiener on 2023-09-12 Submitted works	<1%
19	uwiener on 2024-05-21 Submitted works	<1%
20	Universidad Tecnológica del Peru on 2024-08-27 Submitted works	<1%

21	Universidad Wiener on 2022-06-22 Submitted works	<1%
22	alicia.concytec.gob.pe Internet	<1%
23	issuu.com Internet	<1%
24	Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC on 2025-0... Submitted works	<1%
25	Universidad Internacional de la Rioja on 2024-04-09 Submitted works	<1%
26	repositorio.ulima.edu.pe Internet	<1%
27	uwiener on 2023-09-11 Submitted works	<1%
28	upb.edu Internet	<1%
29	A. Torres-Hernandez, F. Brambila-Paz. "Sets of Fractional Operators an... Crossref	<1%
30	Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC on 2024-1... Submitted works	<1%
31	Universidad Tecnologica del Peru on 2023-02-07 Submitted works	<1%
32	Universidad Tecnologica del Peru on 2024-07-02 Submitted works	<1%

33	repositorio.continental.edu.pe	Internet	<1%
34	repositorio.epnewman.edu.pe	Internet	<1%
35	tesis.ipn.mx	Internet	<1%
36	gamingworks.nl	Internet	<1%
37	iit.upco.es	Internet	<1%
38	msal.gov.ar	Internet	<1%
39	tdx.cat	Internet	<1%
40	Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC on 2025-0...	Submitted works	<1%
41	Universidad Católica de Santa María on 2024-09-12	Submitted works	<1%
42	Universidad Cesar Vallejo on 2016-12-15	Submitted works	<1%
43	Universidad Continental on 2023-06-15	Submitted works	<1%
44	Universidad Tecnológica del Peru on 2023-11-25	Submitted works	<1%

45	Universidad de Cundinamarca on 2023-08-16 Submitted works	<1%
46	core.ac.uk Internet	<1%
47	doku.pub Internet	<1%
48	dspace.esPOCH.edu.ec Internet	<1%
49	e-learning-teleformacion.blogspot.com Internet	<1%
50	hrw.org Internet	<1%
51	tangara.uis.edu.co Internet	<1%
52	uwiener on 2024-05-21 Submitted works	<1%
53	molinadigital.es Internet	<1%