



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

**"Aplicación de la metodología del Mantenimiento
Centrado en la Confiabilidad (RCM) para
incrementar la disponibilidad de motores eléctricos en
la empresa CEYCA, Lima, 2023"**

**Trabajo de suficiencia profesional para optar al título profesional
de:**

Ingeniero Industrial

Autor:

Juan Carlos Najarro Najarro

Asesor:

Dr. Ricardo Villena Presentación

Código ORCID

<https://orcid.org/0000-0002-4858-8267>




Lima - Perú

2024

Informe de Similitud

Najarro Najarro

NAJARRO

-  Quick Submit
-  Quick Submit
-  Universidad Privada del Norte




11% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía

Fuentes principales

- 10%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

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

1	Internet	repositorio.upn.edu.pe	3%
2	Internet	hdl.handle.net	2%
3	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	2%
4	Trabajos del estudiante	Universidad Privada del Norte	2%
5	Internet	upc.aws.openrepository.com	1%
6	Internet	repositorioacademico.upc.edu.pe	0%
7	Trabajos del estudiante	Universidad TecMilenio	0%

Dedicatoria

El presente trabajo es dedicado para mi familia,
ellos son el pilar en mi vida, son los que me
impulsan a seguir en la lucha por el logro de mis
objetivos.

Agradecimiento

Agradecer a Dios por bendecirme cada día de mi vida, a mi esposa por ser mi soporte en la debilidad, a mis padres por ser mi motor y motivo.

Tabla de contenido

Índice de tablas	6
Índice de Figuras	7
Índice de ecuaciones	8
RESUMEN EJECUTIVO	9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	10
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	15
CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA	29
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	54
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
REFERENCIAS	63
ANEXOS	66

Índice de tablas

Tabla 1 Información general de CEYCA	10
Tabla 2 Matriz de correlaciones	31
Tabla 3 Matriz de priorización	32
Tabla 4 Indicadores de disponibilidad inicial.....	34
Tabla 5 Distribución de confiabilidad Weibull	36
Tabla 6 Diagrama de Gantt metodología RCM.....	37
Tabla 7 Pautas para realizar el mantenimiento.....	41
Tabla 8 Programa de mantenimiento preventivo.....	42
Tabla 9 Programa de mantenimiento correctivo.....	43
Tabla 10 Programa de auditorias	49
Tabla 11 Indicadores de disponibilidad posterior	51
Tabla 12 Análisis comparativo de promedio de indicadores.....	54
Tabla 14 Comparación de promedios de indicadores.....	57
Tabla 15 Prueba de hipótesis general	58

Índice de Figuras

Figura 1 Ubicación de la empresa	11
Figura 2 Organigrama de la empresa.....	13
Figura 3 Gestión y estrategias de mantenimiento.....	22
Figura 4 Reparto del tiempo en los sistemas	25
Figura 5 Diagrama de causa – efecto.....	30
Figura 6 Diagrama de Pareto	33
Figura 7 Evolución de disponibilidad inicial.....	35
Figura 8 Ficha para identificación de fallas.....	38
Figura 9 Ficha para identificación de fallas.....	39
Figura 10 Hoja de decisión RCM	39
Figura 11 Procedimiento escrito de trabajo seguro en base al RCM.....	40
Figura 12 Ficha para mantenimiento	44
Figura 13 Protocolo de pruebas para mantenimiento	45
Figura 14 Formato de informe para servicio de mantenimiento	46
Figura 15 Registro de ejecución de trabajos de mantenimiento	47
Figura 16 Formato de control de mantenimiento correctivo	48
Figura 17 Supervisión de mantenimiento de equipos.....	50
Figura 18 Evolución de disponibilidad posterior	52
Figura 19 Comparación en promedio del tiempo medio entre fallas (MTBF).....	55
Figura 20 Comparación en promedio del tiempo para reparaciones (MTTR)	56
Figura 21 Comparación en promedio de la disponibilidad.....	56

Índice de ecuaciones

Ecuación 1 Cálculo de la disponibilidad	24
Ecuación 2 Formula del tiempo medio entre fallas (MTBF).....	27
Ecuación 3 Formula del tiempo medio para reparaciones (MTTR)	28

RESUMEN EJECUTIVO

El trabajo de suficiencia tuvo el objetivo de la aplicación de la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) para incrementar la disponibilidad de motores eléctricos en la empresa CEYCA, Lima, 2023, dado que la experiencia profesional se desarrolló en el área de mantenimiento. En la aplicación del RCM se desarrolló la identificación de fallas, el empleo de la hoja de decisión RCM, el diseño de un procedimiento escrito de trabajo, la programación de mantenimiento preventivo con pautas claras y una duración adecuada, un formato de protocolo de pruebas y la planificación de auditorías. A partir de las buenas prácticas y cambios se logró un incremento en promedio de la disponibilidad de 85.3% en el escenario previo a 91.5% en el periodo posterior, ello se contrastó con la estadística inferencial, alcanzando una significancia (p-valor) de $0.004 < 0.05$, lo cual valida la afirmación. Por lo tanto, Se concluye que la aplicación de la metodología del RCM incrementa la disponibilidad operativa de motores eléctricos en la empresa CEYCA.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Información general de la empresa

CEYCA es una empresa peruana de construcción especializada en la ejecución de proyectos de obras, montaje electromecánico y mantenimiento industrial, ha logrado consolidarse como un actor importante en el sector debido a su calidad y seguridad en cada uno de sus proyectos. Cuenta con certificaciones internacionales que avalan sus altos estándares, entre ellas las normas ISO 9001:2015 (Calidad), ISO 14001:2015 (Ambiental) e ISO 45001:2018 (Seguridad y Salud Operacional) lo que refuerza su compromiso con la sostenibilidad, la ética empresarial y la excelencia operativa. Además, ofrece servicios que abarcan desde la construcción de infraestructuras complejas hasta el mantenimiento especializado, esto le ha brindado la posibilidad de participar en proyectos nacionales y trabajar con empresas líderes en los sectores antes mencionados. El resumen de la información general se presenta.

Tabla 1

Información general de CEYCA

Ítem	Descripción
R.U.C.	20311227913
Razón social	CEYCA SERVICIOS GENERALES Y CONSTRUCCION SAC
Actividades económicas	Principal CIIU 4100: Construcción de edificios Secundaria 1 CIIU 4922: Otras actividades de transporte terrestre Secundaria 2 CIIU 7730: Alquiler de maquinaria
Teléfono	(076) 369175
Sitio web	https://ceyca.com.pe/

Nota. Información proporcionada por CEYCA S.A.C.

1.3. Misión y visión

Misión: CEYCA busca poner a disposición soluciones integrales en materia de ingeniería de construcción considerando los aspectos de seguridad, conciencia medioambiental y calidad. Sus soluciones se encuentran acompañadas de la creación de valor tanto para los clientes que atiende como los colaboradores con los que trabaja a través de la aplicación de tecnologías y personal calificado.

Visión: CEYCA busca ser una empresa colocada estratégicamente en el rol de líder del rubro constructor y de mantenimiento industrial a nivel nacional, que sobresale por su capacidad operativa de alto nivel, ética a nivel empresarial y el cumplimiento de normas medioambientales.

1.4. Valores organizacionales

CEYCA cuenta con una serie de valores que definen a su organización, los cuales son los siguientes:

- Integridad, la cual se encuentra presente en todas las operaciones que realiza lo que brinda una confianza y transparencia a los clientes y colaboradores.
- Responsabilidad, pues está definida por el respeto a las normas ambientales en el desarrollo de sus proyectos.
- Calidad, el cual se encuentra respaldado por las certificaciones internacionales con las que cuenta.
- Compromiso, que se muestra en la atención de la empresa por el aseguramiento de un ambiente laboral adecuado y positivo.

estas ha desarrollado distintos proyectos que involucran la construcción de sistemas para el tratamiento de agua, obras electromecánicas, estaciones de bombeo, etc. Asimismo, dentro del rubro energético ha participado en proyectos de implementación de redes eléctricas y de infraestructura en plantas para el tratamiento de relaves mineros.

1.7. Productos o servicios

Como una empresa que participa dentro del rubro minero y energético principalmente, los servicios brindados por CEYCA incluyen la ejecución de obras para el montaje electromecánico, obras civiles y el mantenimiento industrial. Sobre el primero, se encuentran los proyectos de instalación de redes eléctricas, sistemas de bombeo y ampliación de plantas mineras. En cuanto a las obras civiles se encuentran la construcción de plantas industriales y redes de suministros de servicios de agua y energía. Sobre el mantenimiento industrial, se encuentran los servicios de prevención y corrección para asegurar la continuidad y adecuado funcionamiento de los sistemas.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

El estudio de Khasanah et al. (2021) mencionan que el objetivo principal de aplicar RCM fue mejorar la disponibilidad. La industria de procesos necesita una estrategia óptima de mantenimiento preventivo porque la avería uniforme de una máquina puede provocar una parada inesperada de todo el flujo de producción. Razón por la cual, implementaron el RCM como su estrategia de mantenimiento con el fin de disminuir el tiempo de inactividad. Para ello, desarrollaron su investigación cuantitativa y aplicada, con una muestra conformada por 4 equipos. Además, se utilizó la estadística para analizar la relación entre la disponibilidad y le pérdida de tiempo por inactividad. Los hallazgos refieren que la disponibilidad en el escenario final fue de 95.06%. Por último, recomendaron evaluar los riesgos ocultos a fin de continuar la mejora de indicadores.

Asimismo, en Choudhary et al. (2019) indican que el objetivo fue aumentar los indicadores de disponibilidad en base a la implementación de herramientas del RCM, ya que en una planta de cementó se evidenció que el tiempo de reparación del molino de cemento era elevado. El análisis mostró que la capacidad de la empresa del estudio de caso está infrautilizada en un 17 % debido a problemas de mantenimiento, y en un 15 % por dificultades con la administración. Por último, a partir de la implementación de cambios la disponibilidad alcanza un valor de 98.4%, el MTBF llega a 294.5 horas y un MTTR a 4.73 horas.

En la investigación de Tudon et al. (2019) su propósito fue mejorar la disponibilidad de las operaciones mediante un sistema RCM. Para ello, la investigación se trabajó bajo un enfoque cuantitativo, experimental y descriptivo, con una muestra conformada por 6 equipos. Además, para recoger información se utilizó la observación directa. Los resultados de la investigación determinaron 5 problemas críticos en las operaciones relacionadas al sistema de planeamiento: la tensión eléctrica, el marcado de pliegue, la plancha de calor y el sistema de desenrollado. La implementación de cambios positivos bajo el nuevo enfoque logró un incremento de tiempo medio entre fallas de 556.07 a 1478.21 minutos y una reducción del tiempo medio de reparación de 49.13 a 10 minutos. A partir de lo cual, se concluyó que el RCM mejora la disponibilidad de 91.88% a 99.33%, por lo que se demuestra la efectividad de los cambios.

En el trabajo de Thawkar et al. (2018) alegan que su propósito fue aumentar la disponibilidad en equipos a través del RCM, ya que muchas veces la complejidad de la maquinaria moderna genera fallas y como consecuencia, genera pérdida de disponibilidad del sistema, e incrementa el tiempo de inactividad de las máquinas y el costo de mantenimiento. Por lo cual, utilizaron el análisis de modo y efecto de falla como medida preventiva a fin de disminuir la frecuencia de fallas y su impacto. Estos cambios permitieron que el tiempo de inactividad se reduzca en un 26 % y la disponibilidad mejore en un 1.7 %, en comparación con el escenario anterior.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Núñez y Puchoc (2021) llevaron a cabo una investigación orientada a la aplicación del método RCM para conseguir un aumento en el nivel de disponibilidad. En su metodología, adoptaron un enfoque cuantitativo aplicativo y se sustentó en un diseño experimental, y para recoger información se utilizó las fichas de observación en una muestra de 99 camiones. Los resultados indicaron un incremento en la disponibilidad del 77.8% al 94.7%. Además, se evidenció que el tiempo medio entre fallas se amplió de 290.81 a 603.06 horas, mientras que el tiempo promedio de reparación disminuyó de 72.51 a 39.17 horas. Adicionalmente, el análisis de rentabilidad mostró que el RCM generó un Valor Actual Neto de S/8,751.50. En conclusión, la implementación demostró su efectividad a través del aumento en el nivel de disponibilidad.

El estudio de Ccoyllo y Denil (2021) tuvo como finalidad mejorar la disponibilidad mediante en el área de control de equipos mediante la implementación de lineamientos RCM. La investigación se elaboró con una metodología experimental, aplicativo y explicativa. Los resultados determinaron que la disponibilidad aumentó de 86.8% al 98.8%, con un p-valor de $0.03 < 0.05$, lo cual verifica la significancia del cambio. A su vez, hubo un incremento del MTBF de 33.6 a 47.47 horas y una disminución del MTTR de 4.53 a 0.53 horas. En ese sentido, se concluyó que el RCM permite cambios positivos orientados al incremento de la disponibilidad.

La investigación de Chavarría (2019) tuvo como propósito implementar el RCM con el fin de mejorar la disponibilidad. Para ello, se basó en una metodología aplicada,

cuantitativa, descriptivo y transversal, evaluando una muestra de 7 máquinas a lo largo de dos años. Mediante la herramienta análisis de fallos, se evidenciaron problemas más críticos en el motor, frenos y sistema eléctrico. Tras la implementación de los cambios y buenas prácticas bajo el enfoque se registró una mejora en la organización del mantenimiento que elevó la disponibilidad del 74% al 92%; además, el MTTR disminuyó de 8 a 3 horas, y el MTBF aumentó de 16 a 43 horas, y. Así, se concluyó que el RCM contribuye significativamente al incremento de la disponibilidad.

En el estudio de Salazar (2019) la finalidad fue implementar un proyecto de RCM con el propósito de elevar la disponibilidad. La investigación, de tipo aplicada y descriptiva, incluyó una muestra de 6 vehículos analizados durante un periodo de 12 meses. En los hallazgos se reflejó una mejora en la disponibilidad, que pasó del 83.26% al 97.31%, un valor óptimo dentro del rango esperado. Además, la mantenibilidad, representada por el tiempo medio entre fallas, mejoró con una reducción del 13.61%, lo cual favoreció una mayor operatividad de los vehículos. La implementación también generó un beneficio anual de S/8,737.09. En conclusión, la aplicación de cambios con enfoque RCM resultó en un incremento notable de la disponibilidad.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Variable independiente: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)

Campos et al. (2018) definen el RCM como una metodología que facilita la elaboración de proyectos de mantenimiento integrando acciones principalmente

predictivas, analíticas y preventivas. En esencia, es un método diseñado con el fin de estructurar y optimizar las actividades de mantenimiento y su gestión.

Para Eriksen et al. (2021) el RCM es un enfoque de ingeniería de sistemas para determinar el mantenimiento preventivo del equipo; asimismo, permite programar y optimizar el sistema de mantenimiento, eliminar las consecuencias de fallas dentro del sistema mediante el análisis de la función y la falla del sistema, utilizando un método de decisión lógica estandarizado para determinar medidas preventivas de consecuencias de fallas, optimizando la estrategia de mantenimiento del sistema para el tiempo de inactividad de mantenimiento mínimo.

Bhangu et al. (2017) mencionan que primero debe realizarse un análisis de modo y efectos de fallas (FMEA) para localizar los equipos y componentes específicos, como repuestos, que requieren mantenimiento, ya que las fallas en estos pueden propagarse hacia niveles superiores y comprometer la funcionalidad global del sistema. Además, es necesario preparar una estructura de desglose de la máquina, la cual consiste en una hoja de trabajo de desglose del sistema.

Según Piechnicki et al. (2017) el RCM se originó en la industria de las aerolíneas durante los años 1960 con el fin de elaborar herramientas para determinar la estrategia de mantenimiento más adecuada. A partir de ese momento se han creado y adaptado a lo largo del tiempo varios estándares aplicables en diferentes segmentos. En un enfoque industrial, los criterios mínimos que deben cumplir los procesos RCM se definen por tres normas técnicas como la IEC 60300 -3-11, SAE-JA1011 y SAE-JA1012.

Para García (2016) la distribución de confiabilidad Weibull es una herramienta estadística utilizada para modelar la probabilidad de fallo de componentes o sistemas a lo largo del tiempo. Es muy versátil, ya que puede adaptarse a distintos tipos de comportamientos de fallas, como las que ocurren en fases tempranas (fallos por defectos de fabricación), durante la vida útil (fallos aleatorios), o en el desgaste (fallos por envejecimiento). Se caracteriza por dos parámetros principales: el parámetro de forma (β) (β) que indica la tendencia del fallo (si $\beta < 1$, el fallo decrece con el tiempo; si $\beta = 1$, es constante; y si $\beta > 1$, el fallo aumenta); y el parámetro de escala (η) que representa el tiempo característico en que ocurre el 63.2% de las fallas. La distribución Weibull es fundamental en ingeniería de confiabilidad, ya que permite estimar la duración de los componentes y optimizar los programas de mantenimiento.

Según OShall (2017) el RCM es más que una estrategia, es un proceso que permite tomar decisiones fundamentadas en el análisis de la confiabilidad, definiendo así una estrategia que considere acciones de mantenimiento, incluido el mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo, para cumplir con los requisitos del equipo. Por otro lado, la evaluación de la confiabilidad en el RCM se fundamenta en la premisa de que generalmente las fallas ocurren de forma independiente. Sin embargo, en ciertos casos, debido al tamaño limitado de la muestra, el sistema y sus parámetros pueden no ser determinados con exactitud.

En la misma línea, para Hipni et al. (2018) existen muchos beneficios para la empresa si RCM es implementado, tales como mejorar el desempeño operativo, a fin de

producir un bien de calidad, mejorar la seguridad y protección del ambiente de trabajo, eficiencia al costo de mantenimiento, alargar la duración funcional de los equipos y máquinas, especialmente de máquinas de alto costo. Por otro lado, desde el departamento de mantenimiento, también es importante solucionar problemas del sistema de base de datos con el fin de mantener un sistema más organizado.

Fuentes et al. (2018) describen el enfoque sistemático utilizado para implementar y preservar la función del sistema, y también identifica los modos de falla. Por lo tanto, la secuencia de pasos para la aplicación del RCM es la siguiente.

- Paso 1: selección de equipos. Seleccionando lo crítico operación y mantenimiento de equipos y recolección datos.
- Paso 2: definición de funciones. Deben dividirse en dos categorías principales, como primaria y funciones secundarias
- Paso 3: localización de fallas. En caso de presentarse una falla, esta debe clasificarse según la incapacidad para desempeñar su función, y dichos datos deben sistematizarse en las hojas de trabajo.
- Paso 4: Reconocimiento de modos de falla. Consiste en detectar todos los eventos que, de manera razonable, podrían provocar el estado de avería.
- Paso 5: Reconocimiento de consecuencias. El origen y severidad determinan las consecuencias que cada falla puede provocar.
- Paso 6: Selección de la estrategia. Elegir la acción de mantenimiento adecuada según el contexto donde se realizan las operaciones, por ejemplo, considerando tiempo, temperatura ambiental, condiciones climáticas, entre otros aspectos que influyan en los trabajos o solo ante fallos.
- Paso 7: Evaluar confiabilidad. Llevar a cabo la evaluación mediante el modelo

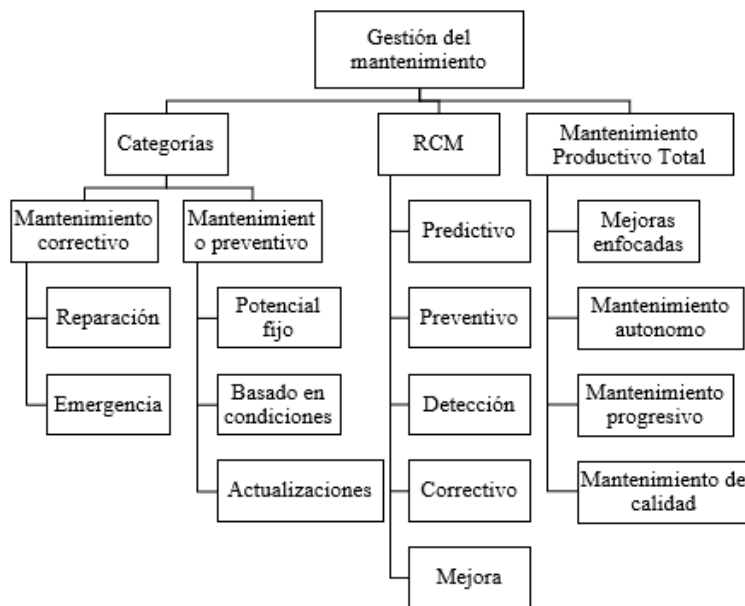
propuesto.

- Paso 8: Planificación de trabajos de manutención. Por último, utilizar las estimaciones para proyectar las tareas de mantenimiento.

Para García (2016) para las estrategias se consideran los siguientes ítems: identificación, relevamiento, planeación, programación y control. En primer lugar, la identificación trata del reconocimiento que se debe realizar a cada equipo, puesto que cada uno opera de manera particular. Segundo, el relevamiento corresponde a la evaluación técnica del equipo, donde se requerirá de un especialista técnico, así como la frecuencia; mientras que el control representa el proceso donde se revisará el cumplimiento de los estándares requeridos.

Figura 3

Gestión y estrategias de mantenimiento



Nota. Tomado de García (2016)

Según Cuatrecasas (2022) la integración con el RCM es evidentemente un tema central en el mantenimiento en el contexto de gestión; en esta perspectiva, se debe tomar en cuenta los aspectos operativos o desarrollado para un contexto específico. Además, para Cárcel (2016) el mantenimiento puede definirse como una combinación de todos los aspectos técnicos, acciones administrativas y gerenciales. El mantenimiento se clasifica en dos principales grupos: mantenimiento preventivo, con el fin de evitar una falla de ocurrir y el mantenimiento correctivo, para corregir una falla después de que haya ocurrido.

Para Rojas et al. (2017) indican que la confiabilidad es la probabilidad de no fallar en el tiempo. Así es como algunos tipos de equipos fallarán con menos frecuencia, por lo tanto, son más confiables que otros. La confiabilidad se puede expresar en términos de una tasa de falla, es decir, fallas por unidad de tiempo, la cual no revela cuándo ocurrirá una falla, esto quiere decir que la confiabilidad está inherentemente asociada con la incertidumbre. La incertidumbre es un desafío obvio con respecto a los sistemas de maquinaria que debe diseñarse con cierta resiliencia hacia el efecto de fallas. La incertidumbre también plantea un desafío para la planificación del mantenimiento donde se debe permitir la flexibilidad para adaptarse a imprevistos.

Asimismo, en Valenzuela et al. (2020) la confiabilidad no se usó específicamente, sin embargo, las consecuencias de la falla de un sistema siempre fueron considerados y su estudio refleja que la importancia de la confiabilidad en el rápido aumento de la complejidad y sistema de automatización. La fiabilidad se ha vuelto inextricablemente vinculado con todas las fases principales de la génesis y el uso de sistemas comerciales, militares y espaciales. En todos los niveles de diseño, desarrollo, adquisición, producción, operación y mantenimiento.

Para Ciulla (2016) el análisis de confiabilidad del equipo agrega más información sobre sus expectativas de rendimiento durante su vida útil. Se definió como la probabilidad de que el elemento cumpla su función prevista durante un periodo determinado y bajo condiciones especificadas. El tiempo de inactividad relacionado con el mantenimiento fue el mayor contribuyente a la baja disponibilidad. Por lo tanto, un análisis más profundo de la función de mantenimiento fue requerido.

2.2.2. Variable dependiente: Disponibilidad

García (2016) establece que la disponibilidad de un equipo depende de su capacidad para permanecer en funcionamiento, ya que cualquier falla interrumpe su operatividad y, por ende, el proceso productivo. En este contexto, el cálculo de este indicador se expresa a continuación.

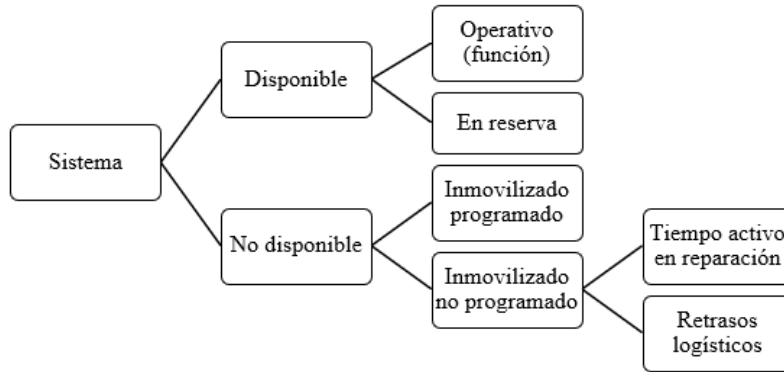
Ecuación 1 Cálculo de la disponibilidad

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

En este sentido, para Caballero y Clavero (2016) el tiempo de producción o la disponibilidad de las máquinas se refiere al período activo en el que un equipo, máquina o sistema está en pleno funcionamiento o la producción real está en proceso. El tiempo de producción es la suma del tiempo de actividad y el tiempo de ruptura. El tiempo de inactividad de la máquina es el tiempo durante el cual las personas o las máquinas están inactivas y los productos no se fabrican, lo que sin duda afecta el resultado final del negocio.

Figura 4

Reparto del tiempo en los sistemas



Nota. Adaptado de Caballero y Clavero (2016)

En la misma línea para Jiménez (2018) el tiempo de inactividad se divide nuevamente en dos categorías, planificado y el tiempo de inactividad no planificado. El tiempo de inactividad planificado está funcionando tiempo perdido debido a eventos planeados. Estos son eventos en los que el operario no tienen intención de mantener la planta en funcionamiento, como descansos, mantenimiento programado y vacaciones. El tiempo no planificado mide la pérdida de tiempos de producción planeados debido a eventos no planificados que causan tiempo de inactividad. Estos eventos se suscitan debido a varios motivos tales como mantenimiento de emergencia, error del operador, problemas mecánicos, repuestos de máquinas indisponibilidad durante el mantenimiento y falta de supervisión, etc.

Patterson y Hennessy (2018) entienden la confiabilidad tomando en cuenta el concepto de la calidad en operaciones, puesto que el servicio que se suministra responde a un comportamiento ideal de los procesos y estándares definidos. Por tanto, el traslado del primer estado al segundo está determinado por los fallos y el traslado del segundo estado al primero se conoce como reposición.

Para Kumar et al. (2021) el desafío de actualizar los sistemas industriales complejos es básicamente hacer frente a las demandas cada vez mayores del mundo real. Las decisiones de gestión dependen de la experiencia y esto se debe a que el patrón de probabilidad de éxito no es fácil de predecir debido a la información disponible limitada y aproximada. Por lo tanto, la tarea radica en aumentar el tiempo operativo de los componentes individuales de un sistema para mantener una mayor confiabilidad del sistema de forma que se logre un aumento tanto de la productividad como de la rentabilidad en una organización. A partir de ello se muestra una elección óptima del MTBF, MTTR y los costos asociados en una unidad de diseño adecuada para brindar la mayor eficiencia posible. El motivo es minimizar el costo satisfaciendo las restricciones de disponibilidad del sistema mediante el uso de algunas técnicas de optimización inspiradas en la naturaleza.

Según Escaño et al. (2019) existen diferentes tipos de parámetros de falla usados para evaluación de la confiabilidad. Uno de los usados fue el tiempo medio entre fallas (MTBF) para la confiabilidad y el tiempo medio para reparar (MTTR) para la mantenibilidad. Importantes para aumentar la confiabilidad, disminuir la mantenibilidad y mejorar la salida. El estándar para la disponibilidad para uso general, la expectativa de la industria era de alrededor del 95%, diferentes fuentes lo influyen al uso del MTBF y el MTTR. Estos pueden ser de falta de piezas necesarias, falta de equipo adecuado y falta de mantenimiento adecuado. El MTBF calculado dividiendo las horas de operación por el número de fallas, mientras que el inverso de éste es la tasa de fracaso. El factor MTTR tiene una influencia en la disponibilidad de equipos. La reparación se puede hacer en el sitio o fuera del sitio de la ubicación del equipo, cuanto menor sea el MTTR conduce a una

mejor disponibilidad del equipo.

Dimensión 1: Tiempo medio entre fallas (MTBF)

Fernández (2020) refiere que el tiempo medio entre fallas (MTBF) indica el promedio de tiempo transcurrido entre cada fallo en un sistema. Este valor se obtiene sumando el tiempo promedio estimado entre fallas probables y el tiempo promedio para realizar la reparación.

Ecuación 2 Formula del tiempo medio entre fallas (MTBF)

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo disponible} - \textit{Tiempo de inactividad}}{\textit{N}^\circ \textit{ de fallas}}$$

En la misma línea, de acuerdo con Kostrzewski et al. (2020) indican que el MTBF es el tiempo medio entre fallas o interrupciones en la operación de un producto, proceso, procedimiento, diseño, máquina, unidad, medio de transporte. El tiempo medio entre fallas asume que un producto o cualquier otro mencionado puede ser reparado, y un producto puede luego reanudar sus operaciones normales.

Dimensión 2: Tiempo medio para reparaciones (MTTR)

Fernández (2020) explica que el tiempo medio de reparaciones (MTTR) cuantifica el tiempo necesario para llevar a cabo una reparación al ocurrir una falla en un componente del sistema.

Ecuación 3 Formula del tiempo medio para reparaciones (MTTR)

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total de mantenimiento}}{\textit{N}^{\circ} \textit{ de reparaciones}}$$

Asimismo, en Alavian et al. (2019) mencionan que tanto el MTBF y el MTTR son de fundamental importancia para el análisis, la planificación de sistemas de producción y la mejora continua. De hecho, MTBF y MTTR se utilizan en la mayoría de los métodos con el fin de medir el rendimiento y otras métricas de rendimiento en sistemas analíticamente y mediante simulaciones de eventos discretos. A partir de ello, es necesario orientación sobre cuántas mediciones de tiempo de actividad y de inactividad de las ocurrencias son necesarias antes de que las estimaciones confiables que puedan ser calculados.

CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

3.1. Contexto general

En este contexto, la investigación se realiza en una empresa en Cajamarca, Perú dedicada al mantenimiento de máquinas para el sector minero, concentrándose en equipos con motores eléctricos. La cual cuenta con 25 años de trayectoria en el desarrollo de proyectos de las regiones a nivel de norte y del centro de Perú, en obras de ingeniería civil, industrial, electromecánica y de mantenimiento. La experiencia se llevó a cabo dentro del área de mantenimiento y se formuló el objetivo de incrementar la disponibilidad de equipos mediante la metodología RCM y se fijaron tres objetivos específicos.

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

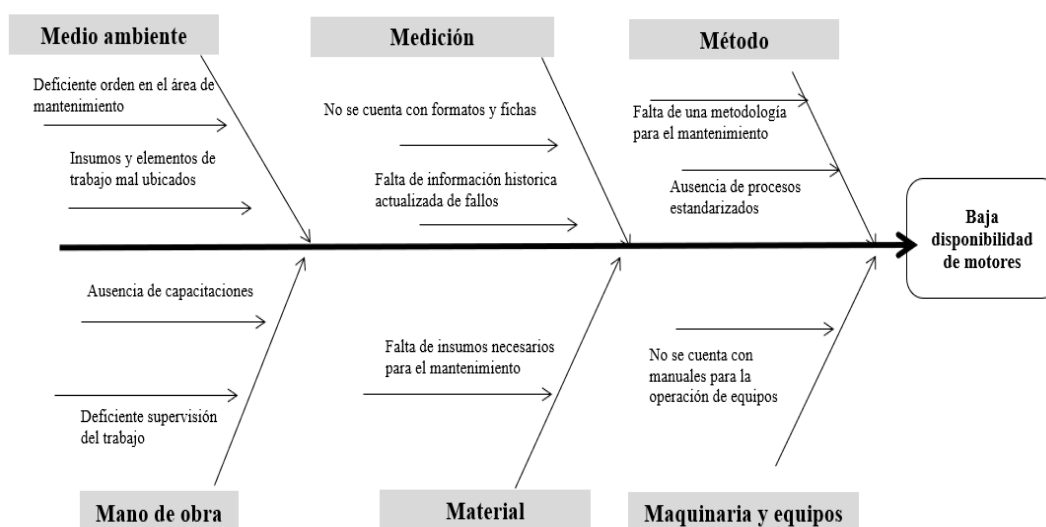
3.2. Diagnóstico del estado actual de la disponibilidad

El desempeño de las operaciones no atravesaba su mejor momento, dado que en los últimos meses según la experiencia en la planta se observa el menor uso de formatos para mantenimiento, la ausencia de capacitaciones, falta de control y supervisión, se cuenta con menos instructivos para la reparación de partes y muchas veces se evidencia un desorden en el taller de mantenimiento. De forma complementaria, el personal no se abastece para el trabajo cada vez creciente, por lo que muchas entregas se postergan. Esta situación genera malestar en los clientes, puesto que pierden la confianza en el servicio y buscan otras

alternativas entre proveedores del mercado. Los incumplimientos de estándares de calidad en las operaciones mineras son altamente costosos, por lo que el equipo de encontrarse funcionando la mayor parte del tiempo. A partir de la experiencia, se identificaron las siguientes fallas en el análisis de causa – efecto.

Figura 5

Diagrama de causa – efecto



Nota. Adaptación propia en base a los datos brindados por la empresa

La situación preocupa al área de operaciones que requiere diseñar un sistema de gestión a fin de mantener las máquinas en el mejor estado posible y encontrarse dispuestos para la producción; en este sentido, se requiere del empleo de una metodología que permite evaluar las condiciones, generar la administración de labores preventivas, establecer una prioridad en la criticidad de los aspectos a mejorar en cada máquina, así como el control y supervisión posterior. En la experiencia se han identificado problemas respecto a baja disponibilidad y durante los últimos meses los clientes han mencionado la mayor presencia de fallas. A partir de las causas identificadas se presenta la siguiente matriz.

Tabla 2

Matriz de correlaciones

Nº	Causas	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	Correlación	%
C1	Falta de una metodología para el mantenimiento	0	3	3	3	3	3	2	2	3	3	25	22.9%
C2	No se cuenta con formatos y fichas	2	0	2	3	3	2	3	3	2	3	23	21.1%
C3	Ausencia de procesos estandarizados	3	2	0	2	2	2	2	3	3	3	22	20.2%
C4	Ausencia de capacitaciones	1	2	1		1	2	3	2	2	2	16	14.7%
C5	Falta de insumos necesarios para el mantenimiento	0	1	1	1		0	0	1	2	1	7	6.4%
C6	No se cuenta con manuales para la operación de equipos	0	1	1	0	0		1	1	1	1	6	5.5%
C7	Falta de información histórica actualizada de fallos	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	4	3.7%
C8	Deficiente supervisión del trabajo	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	3	2.8%
C9	Deficiente orden en el área de mantenimiento	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	2	1.8%
C10	Insumos y elementos de trabajo mal ubicados	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0.9%
TOTAL												109	

Nota. Adaptación propia en base a los datos brindados por la empresa

La Tabla 2 muestra las correlaciones entre las principales causas que afectan el mantenimiento de equipos, utilizando una escala cualitativa y cuantitativa. Las principales causas identificadas son la falta de una metodología para el mantenimiento (C1) y la ausencia de formatos y fichas (C2), con un 22.9% y 21.1% de correlación respectivamente. Estas dos causas reflejan una falta de estructura en los procedimientos de mantenimiento, lo que puede aumentar la frecuencia de fallos y reducir la eficiencia operativa. Una tercera causa se encuentra en la ausencia de procesos estandarizados (C3) que cuenta con un 20.2% de correlación, mientras que la siguiente causa que es la falta de capacitaciones (C4), cuenta con un 14.7%, siendo estas también relevantes para la explicación del problema central y que demuestran una clara falta de organización del recurso humano. Estos factores plasman la necesidad de contar con una metodología que permita la estandarización de procesos, mejoras dentro de la gestión del mantenimiento y programas de formación continua.

Tabla 3
Matriz de priorización

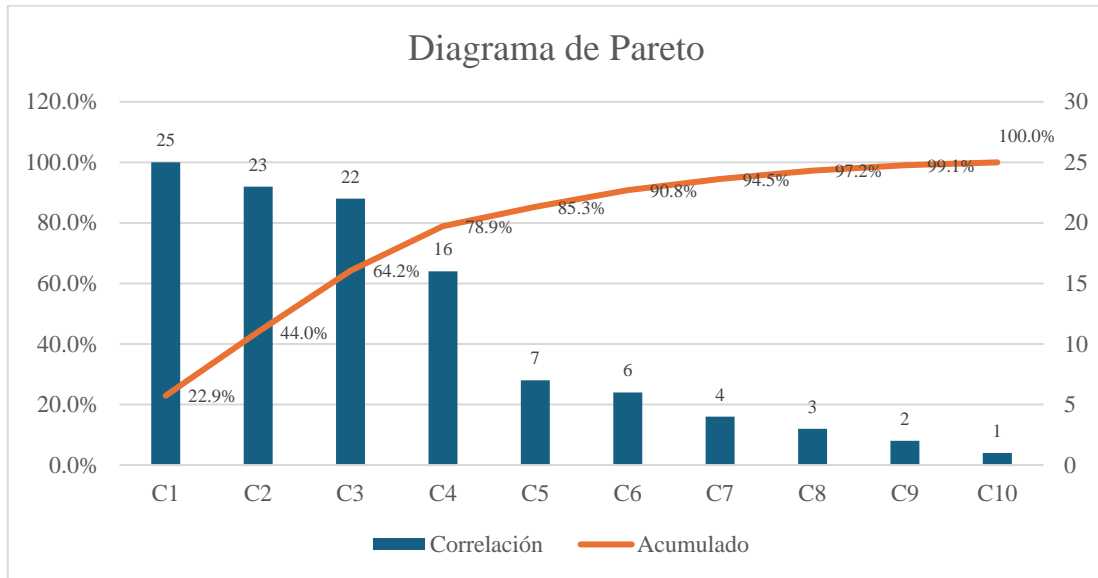
N°	Causa	Correlación	Porcentaje (%)	Acumulado
C1	Falta de una metodología para el mantenimiento	25	22.9%	22.9%
C2	No se cuenta con formatos y fichas	23	21.1%	44.0%
C3	Ausencia de procesos estandarizados	22	20.2%	64.2%
C4	Ausencia de capacitaciones	16	14.7%	78.9%
C5	Falta de insumos necesarios para el mantenimiento	7	6.4%	85.3%
C6	No se cuenta con manuales para la operación de equipos	6	5.5%	90.8%
C7	Falta de información histórica actualizada de fallos	4	3.7%	94.5%
C8	Deficiente supervisión del trabajo	3	2.8%	97.2%
C9	Deficiente orden en el área de mantenimiento	2	1.8%	99.1%
C10	Insumos y elementos de trabajo mal ubicados	1	0.9%	100.0%

Nota. Adaptación propia en base a los datos brindados por la empresa

La Tabla 3 muestra una matriz de priorización en donde se observan aquellas causas que tienen un mayor impacto en el mantenimiento de equipos. La importancia de priorizar las causas de mayor influencia radica en la disponibilidad y optimización de los recursos disponibles. El alto nivel de correlación que muestran las primeras 3 causas puede mostrar también que estas se encuentran correlacionadas entre sí, siendo la adopción de una metodología correcta relevante para la adopción de formatos, procesos y capacitaciones estándar que permitan mejorar el mantenimiento. Se debe destacar también que las causas que muestran un menor porcentaje de priorización no significan que no deban buscar resolverse, puesto que puede generar problemas en un futuro.

Figura 6

Diagrama de Pareto



Nota. Adaptación propia en base a los datos brindados por la empresa

La Figura 6 evidencia las principales causas que afectan el mantenimiento de los equipos, destacando su impacto acumulado en orden de prioridad. Las tres causas más relevantes, según el gráfico en conjunto representan más del 60% de los problemas, confirmando que estos son los factores críticos por abordar en primer lugar. Este diagrama es una herramienta efectiva para identificar rápidamente las áreas que necesitan de mayor cuidado y recursos. La ley del 80/20 se cumple parcialmente, ya que aproximadamente el 80% de los problemas se deben a las primeras cinco causas. Las causas con menor impacto, como la mala ubicación de insumos (C10) y la deficiente supervisión del trabajo (C8), aunque representan una proporción menor, no deben ser desatendidas completamente, ya que su mejora puede complementar el incremento general de la eficiencia.

Adicionalmente, se presentan los datos históricos de la disponibilidad.

Tabla 4

Indicadores de disponibilidad inicial

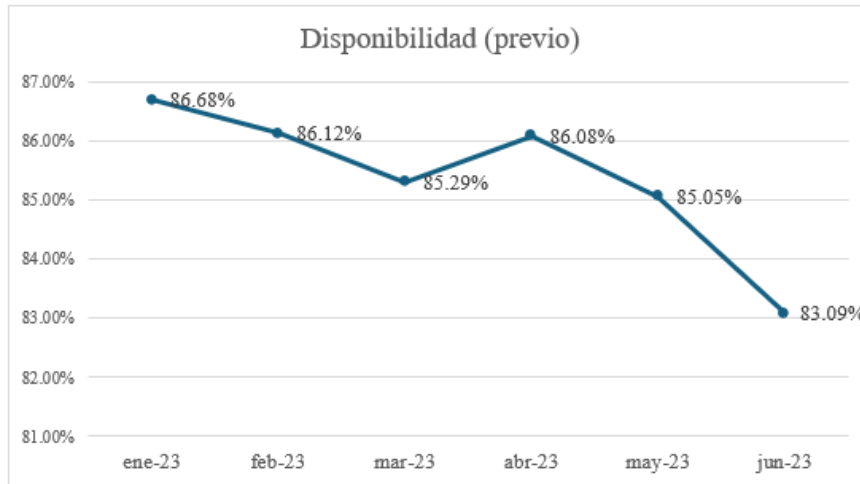
Periodo	Tiempo de funcionamiento	N° fallas	MTBF	Tiempo de reparación	N° fallas	MTTR	Disponibilidad
ene-23	8581.5	93	92.27	1318.50	93	14.18	86.68%
feb-23	8526	91	93.69	1374.00	91	15.10	86.12%
mar-23	8444	95	88.88	1456.00	95	15.33	85.29%
abr-23	8522	94	90.66	1378.00	94	14.66	86.08%
may-23	8420	100	84.20	1480.00	100	14.80	85.05%
jun-23	8226	103	79.86	1674.00	103	16.25	83.09%
Promedio	8453.25	96.00	88.26	1446.75	96.00	15.05	85.39%

Nota. Adaptación propia en base a los datos brindados por la empresa

La Tabla 4 presenta los indicadores de disponibilidad inicial del sistema de mantenimiento, calculados mensualmente en el primer semestre del 2023. La disponibilidad promedio es del 85.39%, lo que indica un rendimiento estable, aunque podría optimizarse. El tiempo medio entre fallas (MTBF) varía desde un valor máximo de 93.69 horas en febrero hasta un mínimo de 79.86 horas en junio, lo que sugiere que el sistema fue más confiable al inicio del periodo. Sin embargo, este descenso hacia junio refleja una tendencia a un mayor número de fallas, lo cual podría estar relacionado con la falta de mantenimiento adecuado o el envejecimiento de los equipos. El tiempo medio de reparación (MTTR), por su parte, también varía ligeramente durante el periodo analizado, alcanzando su punto más alto en junio con 16.25 horas. Esto indica que los tiempos de respuesta frente a fallos pueden no ser consistentes, afectando la disponibilidad general de los motores.

Figura 7

Evolución de disponibilidad inicial



Nota. Adaptación propia en base a los datos brindados por la empresa

La Figura 7 ilustra la evolución a lo largo de los primeros seis meses del año 2023. Se observa una ligera tendencia a la baja en la disponibilidad, pasando de un 86.68% en enero a un 83.09% en junio. Esta disminución es preocupante, ya que indica un declive en la eficiencia del sistema de mantenimiento, posiblemente debido al incremento en el total de fallas y a unos tiempos de reparación más prolongados, como se observa en la Tabla 4. El gráfico es útil para visualizar esta tendencia decreciente y destacar la necesidad de intervenciones correctivas. El mantenimiento predictivo o preventivo podría ser una opción para revertir esta tendencia, ya que el simple hecho de reaccionar ante fallas parece no estar siendo suficiente para mantener una alta disponibilidad. El análisis gráfico también sugiere que la empresa debe enfocarse en reducir los tiempos de inactividad mediante estrategias de mejora como el RCM que se desarrolla en el siguiente punto.

Adicionalmente, según la información presentada anteriormente, se ha elaborado

una tabla con la distribución de confiabilidad Weibull para el análisis a continuación.

Tabla 5

Distribución de confiabilidad Weibull

Tiempo (t) en horas	Función de Confiabilidad	Función de fallo	Tasa de fallo
0	1.000	0.000	0.008
20	0.848	0.152	0.008
50	0.670	0.330	0.008
100	0.449	0.551	0.008
125	0.368	0.632	0.008
150	0.301	0.699	0.008
200	0.198	0.802	0.008

Función de confiabilidad $R(t)$: La probabilidad de que el motor funcione sin fallas hasta el tiempo t , es decir, a las 125 horas, hay un 36.8% de probabilidad de que el motor aún esté operativo.

Función de fallo $F(t)$: El valor probabilístico de que el motor haya fallado hasta el tiempo t a las 125 horas, el 63.2% de los motores habrá fallado.

Tasa de fallo $\lambda(t)$: Es constante debido a que $\beta=1$ y es igual a $1/\eta=1/125\approx 0.008$ 0.008 fallos por hora.

En síntesis, se muestra que los motores tienen una probabilidad constante de falla, lo que sugiere que las fallas ocurren de manera aleatoria. A las 125 horas de operación, la probabilidad de que los motores sigan funcionando es del 36.8%, mientras que el 63.2% habrá fallado. La tasa de fallo es constante a lo largo del tiempo y se mantiene en 0.008 fallos por hora, lo que implica que no existe un deterioro progresivo. Este modelo resultó de utilidad para anticiparse al comportamiento de los motores en escenarios donde las fallas no dependen del desgaste acumulativo, permitiendo ajustar las estrategias de

mantenimiento, lo cual reduce tiempos de inactividad inesperados y optimizando el uso de recursos. En general, la confiabilidad de los motores sigue un patrón predecible, facilitando la planificación de intervenciones.

3.3. Diseño y ejecución del plan de aplicación RCM

El desarrollo de la aplicación de mejora cuenta con actividades claramente organizadas a través del siguiente Gantt.

Tabla 6

Diagrama de Gantt metodología RCM

Actividad	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4			
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
Análisis de indicadores iniciales	■	■														
Identificación de fallas		■	■													
Diseño de formato de identificación				■												
Hoja de decisión RCM				■	■											
Procedimiento escrito de trabajo (PET)				■	■	■										
Pautas para trabajo de mantenimiento				■	■	■	■									
Programa de mantenimiento preventivo					■	■	■	■								
Programa de mantenimiento correctivo						■	■	■	■							
Ficha de registro de mantenimiento								■	■	■						
Protocolo de pruebas								■	■	■	■					
Informe de servicio de mantenimiento											■	■				
Formato de control de trabajos correctivos												■	■			
Programa de auditoría													■	■	■	
Análisis de datos finales															■	■

El diagrama de Gantt anterior toma en cuenta la planificación de actividades como el análisis de indicadores iniciales, la identificación de fallas, el diseño de formato de identificación, el uso de hoja de decisión RCM, la creación de procedimiento, las pautas para trabajo de mantenimiento, el programa de preventivo y correctivo, el diseño de ficha de registro de mantenimiento, el protocolo de pruebas, los informe de servicio de mantenimiento, los formato de control de trabajos correctivos, el programa de auditoría y el análisis de datos finales, todo ello en un horizonte de 16 semanas. En este sentido, se presenta

el formato de identificación de fallas en la siguiente figura.

Figura 8

Ficha para identificación de fallas

Proceso:		Código:		*****
Documento:		Versión:		1
Fecha:		Páginas:		1 DE 1
IDENTIFICACION				
ACTIVIDAD				
UBICACIÓN				
NOMBRE DE QUIEN REPORTA				
FECHA DE REPORTE (dd/mm/aa)				
DESCRIPCION DEL ACTO OBSERVADO		DESCRIPCION DE LA CONDICION OBSERVADA		
ACCION CORRECTIVA INMEDIATA		SUGERENCIA PARA PREVENIR SU REPETICION		
ANALISIS				
ACEPTABLE	BAJO	MODERADO	ALTO	INTOLERABLE
ACCIONES CORRECTIVAS, PREVENTIVAS Y DE MEJORA TOMADAS				
RESPONSABLE DE LAS ACCIONES TOMADAS				
FECHA DE CIERRE DEL ACTO O CONDICION INSEGURA				
NOMBRE DEL FUNCIONARIO QUE REALIZA EL CIERRE				

Se presenta un formato para la identificación de fallas, lo cual es posible mediante el formato anterior que permite llenar información clave de aspectos puntuales como la condición del equipo, la descripción del inconveniente y las alternativas de solución tentativa.

Figura 9

Ficha para identificación de fallas



La identificación de fallas en el trabajo de mantenimiento fue crucial para evitar paradas no planificadas, reducir costos operativos y prolongar la vida útil; además permitió implementar soluciones preventivas y correctivas, mejorando la eficiencia, seguridad y confiabilidad de los procesos productivos.

Figura 10

Hoja de decisión RCM

Hoja de decisiones RCM											Área: Mantenimiento					
Vehículo	Referencias de información			Evaluación de Consecuencias				Acción a falta de						Tarea Propuesta	Intervalo Inicial (a=año, m=mes, s=semana, d=día)	A realizarse por
	FB	FM	FA	H	S	N	O	O1	O2	O3	H1	H2	H3			
															1S	Juan Carlos
															5D	Juan Carlos
															1S	Juan Carlos
															4D	Juan Carlos
															3D	Juan Carlos
															5D	Juan Carlos
															1S	Juan Carlos
															4D	Juan Carlos
															D	Juan Carlos
															1S	Juan Carlos
															3D	Juan Carlos
															1S	Juan Carlos
															4D	Juan Carlos
															1S	Juan Carlos
															1S	Juan Carlos
															8D	Juan Carlos
															10D	Juan Carlos
															5D	Juan Carlos

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

En la figura anterior se especifica sobre la frecuencia de la falla, la evaluación de las posibles consecuencias y se clasifica el tipo de acción a tomar según los orígenes. A partir de ello, se proponen trabajos preventivos con intervalos de tiempo adecuados bajo la supervisión de un responsable. De forma complementaria, se presenta un procedimiento de trabajo (PET) que permite mejorar la organización operativa para el cuidado de recursos.

Figura 11

Procedimiento escrito de trabajo seguro en base al RCM

	FORMATO	Código: FSST-022	
	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO	Versión: 03	
		Fecha: 01-10-20	
		Aprobado por: GA	

PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO			PETS-CEYMEC-004 Pg. 1 de 6 Rev. 2
Tarea	Preservación de equipos.	Fecha de Revisión	10-05-21
Cargo	Supervisor de Mantenimiento, Técnico de Mantenimiento, Asistente de Mantenimiento y Operario de Mantenimiento	Fecha de Publicación	12-05-2
Gerencia	Proyectos de Capital Sostenible.		
Area	Proyectos de Capital Sostenible.	Area:	



El procedimiento escrito de trabajo (PET) de la figura anterior contiene objetivos claros para la conservación de los equipos, así como las metas de las operaciones de mantenimiento; asimismo, se plantea el alcance para el personal y los materiales de consulta

en caso de dudas o inconvenientes. Por otro, la responsabilidad es un aspecto trascendental que se menciona en el procedimiento, tanto como los recursos a emplear y el temario a seguir. Los pasos por seguir dentro del trabajo de mantenimiento se explican de forma detallada en la siguiente tabla.

Tabla 7

Pautas para realizar el mantenimiento

Pautas para realizar el mantenimiento
Revisar terminales eléctricos de sujeción
Prueba de resistencia en aislamiento (Megado)
comprobar correcto accionamiento mecánico de contactores
Monitorear la tensión de suministro de los motores
Verificación visual de cada uno de los componentes
Detección de anomalías de vibraciones
Revisión del funcionamiento de las secciones de rodamientos
Limpieza y lubricación de manera periódica

Nota. Elaboración propia

En primer lugar, las pautas para el trabajo de mantenimiento señalan la necesidad de revisar los terminales eléctricos de sujeción, ejecutar pruebas de resistencia en aislamiento, comprobar el correcto accionar mecánico, monitorear la tensión, revisión visual de los componentes, detección de vibraciones y limpieza – lubricación de partes. Asimismo, se plantea un programa preventivo.

Tabla 8

Programa de mantenimiento preventivo

Descripción de actividad	Intervalo	Duración (minutos)
Limpieza	cada 2 semanas	60
Vibración y calentamientos anormales	cada 3 semanas	30
Estado de los componentes de rodamientos	cada 4 meses	60
Comprobar carga	cada 4 meses	80
Comprobar roses de cadenas poleas	cada 4 meses	60
Limpieza (interior-exterior)	anual	120
Conexiones	cada 3 meses	30
Verificar humedad, aceite o grasa	semestral	10
Resistencia de aislamientos y posterior puesta a tierra	semestral	60
Análisis de carga en vacío y en actividad - trabajo	trimestral	90
Lubricación general	anual	30
Equilibrar la sección del rotor	anual	180
Estado de carcasa	anual	100

El programa de mantenimiento preventivo toma en cuenta trabajos como la limpieza exterior cada 2 semanas con una duración de 60 minutos, así como la comprobación de algunos estados o condiciones que deben ser regulados por un electricista que conozca el trabajo que desarrollan los equipos. En la misma línea, se ha mencionan las actividades de mantenimiento correctivo a fin de contar con una adecuada disposición del proceso.

Tabla 9

Programa de mantenimiento correctivo

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

Los trabajos de mantenimiento correctivo inicial con desmontar el motor eléctrico, reparación de contactor eléctrico, sustitución, alineamiento del eje de motor, cambio de terminales eléctricos sulfatados, barnizada de bobina del motor, retiro de rotor del motor eléctrico, fijación de soportes del motor eléctrico, prueba de corriente de vacío o sin carga, medir la tensión de alimentación, ajustar al valor correcto, sustitución de las bobinas del rotor, cambio de rodamientos y el montaje de motor Eléctrico. La duración del trabajo se calcula en 935 minutos que corresponde a casi 15 horas y media.

Asimismo, a fin de contar con un control de la operatividad del proceso de mantenimiento, se ha diseñado una ficha donde se colocarán los aspectos más relevantes, así como indicaciones claves, tal como señala la siguiente figura

Figura 12

Ficha para mantenimiento

		FICHA PARA MANTENIMIENTO					F01-PR-SMI-21	
AREA							FECHA(DD/MM/AAA)	
ENCARGADO		JUAN CARLOS						
ASPECTOS A VERIFICAR	CUMPLIMIENTO			GRADO DE ACCIÓN			OBSERVACIONES	
	SI	NO	NA	A INMEDIATA	B PRONTA	C POSTERIOR		
Limpieza								
Limpieza lavado y requerimientos de materiales								
Limpieza del sistema eléctrico								
Limpieza de chasis y filtros de aire								
Mantenimiento preventivo								
Lubricación								
Rodamientos								
Gas (opcional)								
Funcionamiento operativo								
Bujías								
Puntos internos								
Sistema eléctrico								
Cables eléctricos debidamente entubados.								
Los empalmes o conexiones estan en buen estado.								
Tomas e interruptores en buen estado								
Cables en buen estado.								
Los tableros, cajas y circuitos estan identificados.								
Existe señalización de peligros.								
PELIGRO MECANICO								
Equipos o herramientas en buen estado								
PREGUNTAS Y OBSERVACION DE TAREAS								
El personal tiene claro que hacer en caso de un incidente dentro del proceso de mantenimiento.								
Se conoce el procedimiento para el mantenimiento además de las responsabilidades dentro de la empresa								
Los funcionarios , contratistas y colaboradores usan y cuidan sus EPP.								
COMENTARIOS								
AREA			CARGO			AREA		

La ficha de control toma en cuenta aspectos que deben resolverse para disponer de forma adecuada los motores eléctricos de la empresa. El registro de los trabajos de mantenimiento queda evidencia en el protocolo de pruebas, tal como menciona el siguiente formato.

Figura 13

Protocolo de pruebas para mantenimiento

 PROTOCOLO DE PRUEBAS																													
CLIENTE : <u>MINERA YANACOCHA</u>	FECHA : <u>6/09/2022</u>																												
LUGAR : <u>RANSA HUARAL AC02</u>	P.O. : <u>4-0706-02-P/A3SP100298</u>																												
TAG : <u>1325-FL-C2801-MO01</u>	LOC.: <u>R21</u> BOX: <u>F2</u>																												
MARCA <u>US MOTORS</u>	FRECUENCIA <u>60 HZ</u>																												
N° SERIE <u>T 01 7511958 - 0006 R 0001</u>	N° FASES <u>3 ~</u>																												
FRAME <u>445 TC</u>	RPM <u>1785</u>																												
POTENCIA <u>150 HP</u>	GRADO DE PROTECCION <u>0</u>																												
TENSION <u>460 V</u>	FACTOR DE SERVICIO <u>1.15</u>																												
CORRIENTE <u>171A</u>																													
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO																													
Temp Amb: <u>18.0 °C</u>	Humedad % : <u>67.8%</u>																												
<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><u>0.50 KV</u></td> <td></td> <td></td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>R - T</td> <td><u>0.50 KV</u></td> <td></td> <td></td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>S - T</td> <td><u>0.50 KV</u></td> <td></td> <td></td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>RST - G</td> <td><u>0.50 KV</u></td> <td><u>1.93 GΩ</u></td> <td><u>7.74 GΩ</u></td> <td><u>25.60 GΩ</u></td> </tr> </tbody> </table>					DESCRIPCION	Tension Prueba	MΩ @ 15 Seg.	MΩ @ 1 Minuto	MΩ @ 10Minutos	R - S	<u>0.50 KV</u>			-	R - T	<u>0.50 KV</u>			-	S - T	<u>0.50 KV</u>			-	RST - G	<u>0.50 KV</u>	<u>1.93 GΩ</u>	<u>7.74 GΩ</u>	<u>25.60 GΩ</u>
DESCRIPCION	Tension Prueba	MΩ @ 15 Seg.	MΩ @ 1 Minuto	MΩ @ 10Minutos																									
R - S	<u>0.50 KV</u>			-																									
R - T	<u>0.50 KV</u>			-																									
S - T	<u>0.50 KV</u>			-																									
RST - G	<u>0.50 KV</u>	<u>1.93 GΩ</u>	<u>7.74 GΩ</u>	<u>25.60 GΩ</u>																									
R 40°C = _____																													
Instrumento <u>MEGOMETRO DIG.</u>		Escala Max (500VDC) <u>5 KV</u>																											
Marca: <u>MEGABRASS</u>		Modelo: <u>MD5060X</u> Serie: <u>14K2419</u>																											
INDICE DE POLARIZACION																													
IP : <u>3.09</u>																													
INDICE DE ABSORCION DIELECTRICA																													
DAI: <u>1.87</u>																													
OBSERVACIONES																													
VALOR DE RESISTENCIA :																													
IP : <u>BUENO</u>																													
DAI : <u>EXCELENTE</u>																													
TECNICO RESPONSABLE:			SUPERVISOR RESPONSABLE:																										

Nota. Adaptado formato de la empresa Ceyca

El protocolo de pruebas para mantenimiento es un formato muy importante en las labores, dado que permite especificar la resistencia de los equipos y detalla información sobre la tensión, amperaje, absorción eléctrica y observaciones complementarias que son de gran ayuda para los trabajos preventivos. En la parte superior se deben llenar datos sobre el técnico que realiza el mantenimiento, fecha, lugar y detalles sobre el motor.

Figura 14

Formato de informe para servicio de mantenimiento

INFORME TÉCNICO DE SERVICIO		Código: FRT.22	
		Versión: 05	
		Pág. 1 de 2	
NOMBRE DEL EQUIPO		Nº DE INVENTARIO	FECHA DE MANTENIMIENTO (DD/MM/AAAA)
MANTENIMIENTO APLICADO <input type="checkbox"/> Preventivo <input type="checkbox"/> Correctivo <input type="checkbox"/> Verificación <input type="checkbox"/> Repotenciación		TIEMPO ESTIMADO DE MANTENIMIENTO	TIEMPO UTILIZADO DE MANTENIMIENTO
FECHA ENTREGA: No de Solicitud Tipo de Solicitud <input type="checkbox"/> SIMAT <input type="checkbox"/> NO SIMAT		Ubicación	
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO:			
ELECTRÓNICA <input type="checkbox"/> Aplica		ELECTRICIDAD <input type="checkbox"/> Aplica <input type="checkbox"/> No aplica	
<input type="checkbox"/> Verifica funcionamiento <input type="checkbox"/> Mantenimiento sistema óptico <input type="checkbox"/> Mantenimiento sistema mecánico <input type="checkbox"/> Mantenimiento y verificación de tarjetas <input type="checkbox"/> Mantenimiento de sistema eléctrico <input type="checkbox"/> Mantenimiento de fuente de energía		<input type="checkbox"/> Resistencias <input type="checkbox"/> Borneras (reapretar) <input type="checkbox"/> SSR <input type="checkbox"/> Conectores (reapretar) <input type="checkbox"/> Refractario <input type="checkbox"/> Pulsadores <input type="checkbox"/> Termopar <input type="checkbox"/> Instrumentación <input type="checkbox"/> Pilotos de señalización <input type="checkbox"/> Sensor (s) <input type="checkbox"/> Fusibles <input type="checkbox"/> Medidas de tensión <input type="checkbox"/> Motor (s) <input type="checkbox"/> Contactores <input type="checkbox"/> Medidas de corriente <input type="checkbox"/> Cableado <input type="checkbox"/> Relevos <input type="checkbox"/> Medidas de resistencia <input type="checkbox"/> Termostato <input type="checkbox"/> Térmico <input type="checkbox"/> Medidas de aislamiento <input type="checkbox"/> Cambio de escobillas <input type="checkbox"/> Revisión Reloj <input type="checkbox"/> Revisión Control de Velocidad <input type="checkbox"/> Revisión Eléctrica <input type="checkbox"/> Ajustes mecánicos <input type="checkbox"/> Lubricación <input type="checkbox"/> Medición RPM <input type="checkbox"/> Mantenimiento	
REFRIGERACIÓN		MECÁNICA <input type="checkbox"/> Aplica <input type="checkbox"/> No aplica	
<input type="checkbox"/> Revisión y ajustes del sistema eléctrico <input type="checkbox"/> Medición de corriente y tensión <input type="checkbox"/> Medición de presiones <input type="checkbox"/> Cambio de partes eléctricas <input type="checkbox"/> Cambio de partes mecánicas <input type="checkbox"/> Revisión de carga de refrigerante <input type="checkbox"/> Ajuste de carga de refrigerante <input type="checkbox"/> Lavado/Limpieza de serpentín evaporador <input type="checkbox"/> Lavado de filtros <input type="checkbox"/> Limpieza de desagües <input type="checkbox"/> Lavado/limpieza de serpentín condensador <input type="checkbox"/> Lubricación de Motores <input type="checkbox"/> Engrase de chumaceras <input type="checkbox"/> Alineación de poleas <input type="checkbox"/> Tensión de correas <input type="checkbox"/> Ajustes mecánicos <input type="checkbox"/> Pruebas y verificación de Funcionamiento		<input type="checkbox"/> Servicio del taller de mecánica <input type="checkbox"/> Fabricación, repuestos en máquinas y herramientas <input type="checkbox"/> Mantenimiento parcial del equipo <input type="checkbox"/> Mantenimiento total o general mecánico <input type="checkbox"/> Cambio de rodamientos <input type="checkbox"/> Interventoría <input type="checkbox"/> Diseño y montaje de partes mecánicas <input type="checkbox"/> Urgencia técnica <input type="checkbox"/> Apoyo a otro taller <input type="checkbox"/> Apoyo a proyectos de grado <input type="checkbox"/> Compras de repuestos <input type="checkbox"/> Gestión técnicas con proveedores externo (mecánica) <input type="checkbox"/> Servicio a domicilio del servicio	

El formato de informe para el servicio de mantenimiento permite estructurar la información realizada en los trabajos para una comprensión fácil y rápida por parte del equipo; en este sentido, se detallan aspectos mecánicos, eléctricos y operativos mediante la marca de un check lo cual facilita la sistematización y reduce los tiempos que no agregan valor en las actividades.

Figura 16

Ficha de supervisión de mantenimiento correctivo

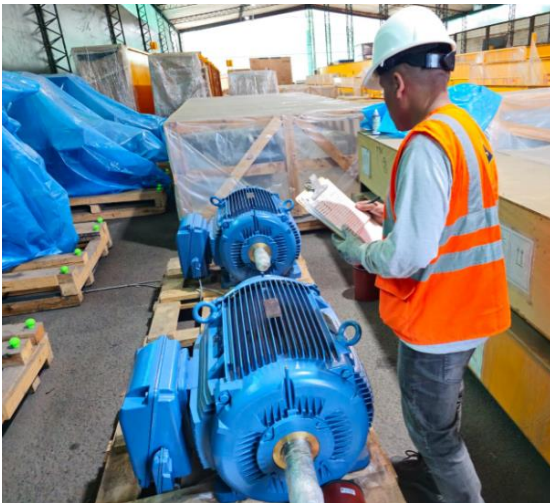
Formato de control de mantenimiento correctivo							
OBRA / CONVENIO: _____				N° de Parte 001 - Fecha / /			
I.- Datos de la Maquinaria:							
Código de equipo :		Tipo:		Modelo			
II.- Datos de Control Inicial							
Hora de Salida :		:					
Hora de Llegada :		:					
Horas de Traslado :		:					
III.- Control de Horas de Campo:							
Item	Código	Labor	Horas		Horas Efectivas	Nombre del Controlador	Observaciones
			Inicio	Fin			
1							
2							
3							
4							
Total Horas							
IV.- Control de Tiempos Muertos							
Descripción		Tiempo		VI.- Ubicación			
Mantenimiento v/o Reparación				_____			
Esperando Indicaciones				_____			
Refrigeric				_____			
Condiciones				_____			
Otros				_____			
TOTAL				VII.- Ocurrencias			
V.- Abastecimientos de Insumos:							
Insumos	u.m	Cantidad	OBS	_____ _____ _____			

La ficha anterior fue de gran utilidad dado que permite el detalle de la información del equipo, el control de las horas de trabajo, la descripción de las operaciones y el detalle de las ocurrencias para conocer la situación de cada equipo y a partir de ello plantear acciones preventivas que permitan elevar la disponibilidad. Adicionalmente, se elaboró un cronograma para las auditorías el cual se muestra a continuación.

Esta programación se distribuyó a lo largo de 12 meses, y abarca una evaluación de distintos puntos: disponibilidad operativa, prioridades de riesgo, evaluación de fallas, metodología RCM, entre otras.

Figura 17

Supervisión de mantenimiento



El proceso de supervisión fue muy importante pues aseguraba que la ejecución de actividades se diese siguiendo los estándares establecidos con anterioridad. Así, se aseguró de que ocurra una mínima cantidad de errores y que la implementación de nuevos procedimientos se haya dado adecuadamente. También permitió que se identificaran de manera temprana posibles desviaciones y retrasos, lo cual contribuyó a un aumento en la eficiencia y a una reducción en la inactividad de los equipos.

3.4. Resultados alcanzados con relación a la mejora de la disponibilidad

A continuación, se observarán hallazgos obtenidos una vez realizada la

implementación de medidas RCM. Los cambios tuvieron lugar en un período de seis meses, en el segundo semestre del 2023 mediante datos relacionados con el tiempo de funcionamiento, las fallas, el MTBF y MTTR, se logró evaluar el impacto de las mejoras en la disponibilidad global del sistema, obteniendo resultados favorables que serán detallados en la siguiente tabla.

Tabla 11

Indicadores de disponibilidad posterior

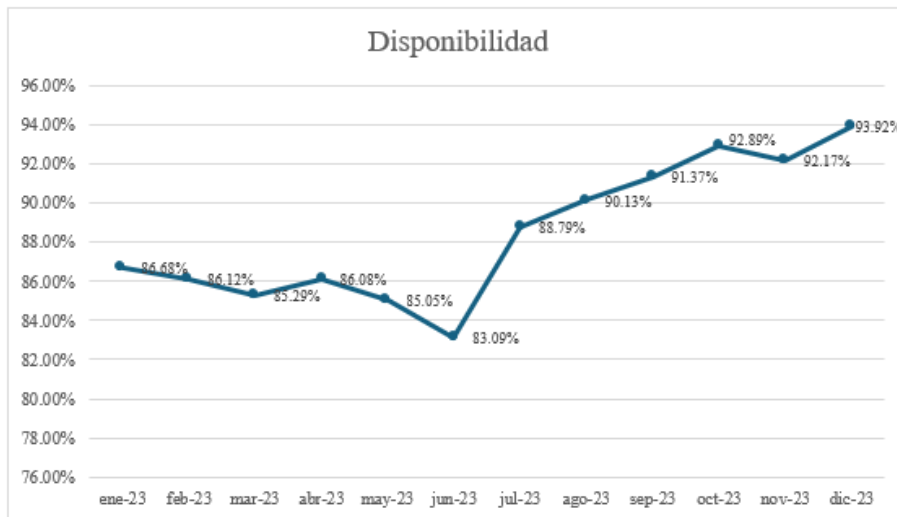
Periodo	Tiempo de funcionamiento	N° fallas	MTBF	Tiempo de reparación	N° fallas	MTTR	Disponibilidad
jul-23	8790.7	91	96.60	1109.30	91	12.19	88.79%
ago-23	8922.5	85	104.97	977.50	85	11.5	90.13%
sep-23	9045.3	77	117.47	854.70	77	11.1	91.37%
oct-23	9196	72	127.72	704.00	72	9.78	92.89%
nov-23	9125	69	132.25	775.00	69	11.23	92.17%
dic-23	9298	63	147.59	602.00	63	9.56	93.92%
Posterior	9062.92	76.17	121.10	837.08	76.17	10.89	91.54%

La Tabla 10 presenta los indicadores de disponibilidad luego de la aplicación de las mejoras. Durante el período analizado, se observó un aumento progresivo en la disponibilidad de los motores. En julio de 2023, la disponibilidad fue del 88.79%, con un tiempo medio de funcionamiento de 8790.7 horas y un MTBF de 96.60 horas. En comparación, para diciembre de 2023, la disponibilidad aumentó al 93.92%, acompañado de un tiempo medio de funcionamiento de 9298 horas y un MTBF de 147.59 horas. Este incremento refleja la efectividad de las acciones implementadas, las cuales lograron reducir tanto las fallas y tiempo de reparación (MTTR), pasando de 12.19 horas en julio a 9.56 horas en diciembre. Este análisis sugiere que las estrategias correctivas y

preventivas aplicadas contribuyeron significativamente a la mejora de la disponibilidad, incrementando el rendimiento general de las máquinas y reduciendo los tiempos de inactividad. Se puede destacar también la mejora continua de los indicadores con el pasar de los meses, siendo diciembre el mes en el que alcanza la mayor disponibilidad, que fue de 93%.

Figura 18

Evolución de disponibilidad posterior



En la figura 18 se observa la evolución del indicador de disponibilidad global para el período de análisis. En esta se observa que en los meses iniciales el promedio de la disponibilidad fue de 86%, mientras que, partiendo del mes de septiembre de 2023, empezó a adoptar una tendencia creciente hasta alcanzar un 93% en diciembre de 2023. El continuo aumento de la disponibilidad tiene su sustento en la reducción de la ocurrencia de fallas y un mejor MTTR que trajo una continuidad operativa mucho más grande. Esto muestra que, gracias a las mejoras introducidas dentro de la empresa se logró una mejora en el rendimiento que trajo consigo una mejora en la fiabilidad de equipos y

reducción de los tiempos inoperativos. De esta manera, la figura demuestra una evolución favorable gracias a las estrategias aplicadas para la mejora de la disponibilidad y el aseguramiento de la sostenibilidad operativa.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

En el presente capítulo se exponen los resultados encontrados a partir de la investigación. El enfoque fue la implementación del RCM para conseguir un incremento en el nivel de disponibilidad de los motores eléctricos. El principal objetivo era argumentar la manera en que el RCM impactaba en la disponibilidad, lo cual se reflejaría en los indicadores de operación y la cantidad de fallas ocurridas en los motores. La comparación de los resultados obtenidos antes y después de la implementación muestran que efectivamente hubo una mejora tanto a nivel operativo como en un menor tiempo de inactividad.

Tabla 12

Análisis comparativo de promedio de indicadores

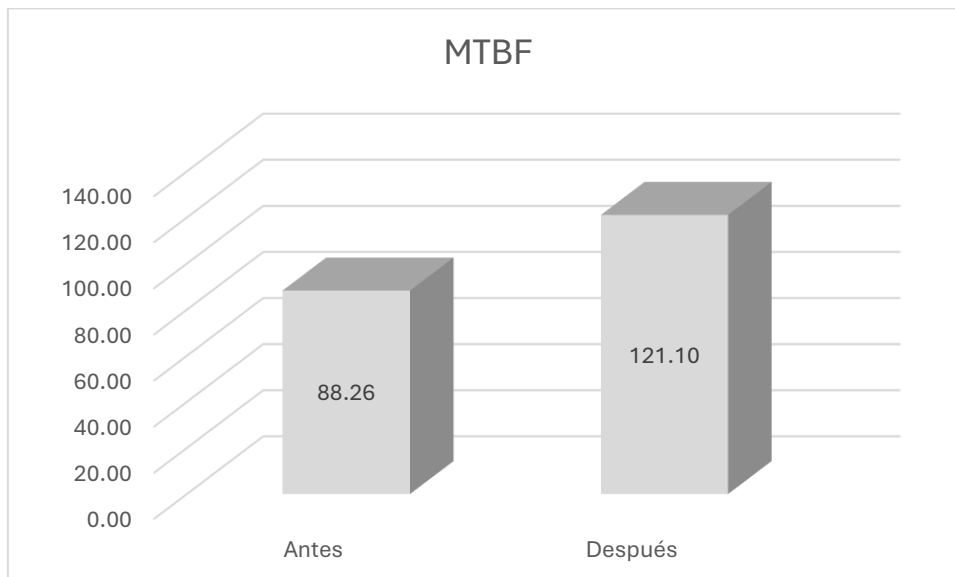
Indicador	Antes	Después	Diferencia
Tiempo de funcionamiento (horas)	8,453.25	9,062.92	609.67
Número de fallas (unidad)	96.00	76.17	-19.83
MTBF (horas)	88.26	121.10	32.84
Tiempo de reparación (horas)	1,446.75	837.08	-609.67
MTTR (horas)	15.05	10.89	-4.16
Disponibilidad	85.39%	91.54%	6.16%

En la tabla se muestra la comparación antes y después de la implementación para los indicadores de disponibilidad operativa. Se puede observar que hubo una mejora significativa en cada uno. En el tiempo de funcionamiento hubo un incremento sustancial de 609.67 horas, demostrando una mayor operatividad y uso de los motores. Asimismo, la cantidad de fallas ocurridas se redujo en 19.83 unidades incrementando el nivel de confiabilidad. En cuanto al MTBF, se incrementó en 32.84 horas lo que muestra un mayor

tiempo entre la ocurrencia de fallas. El tiempo de reparación se redujo en 609.67 horas indicando un menor tiempo de inoperatividad por mantenimiento. Esto influye también en el MTTR el cual disminuyó en 4.16 horas. Finalmente, todas las mejoras en estos indicadores impactan en el nivel de disponibilidad el cual se incrementó en 6.16% gracias a la aplicación del RCM.

Figura 19

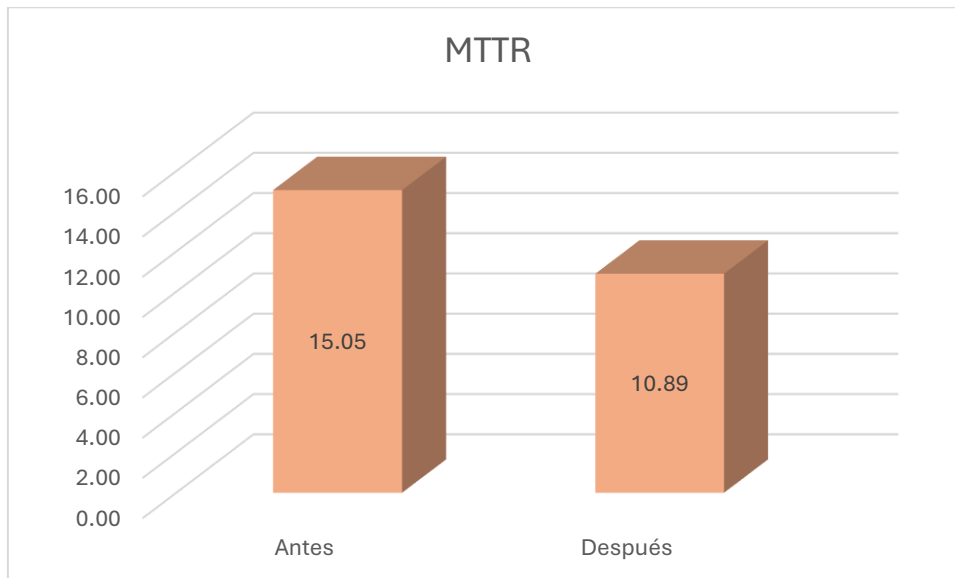
Comparación en promedio del tiempo medio entre fallas (MTBF)



En la figura anterior se tiene la comparación del MTBF antes y después de la implementación. Como se puede apreciar hubo un incremento de 32.84 horas, demostrando una mayor confiabilidad en los motores al aumentar el tiempo entre la ocurrencia de una falla a otra. Esto se explica pues el MTBF señala la cantidad de tiempo que pasa un equipo operando desde la ocurrencia de un fallo hasta uno nuevo. El resultado observado demuestra la efectividad de la aplicación al reducir la posibilidad de ocurrencia de nuevas fallas y asegurar la continuidad de la operación de los motores.

Figura 20

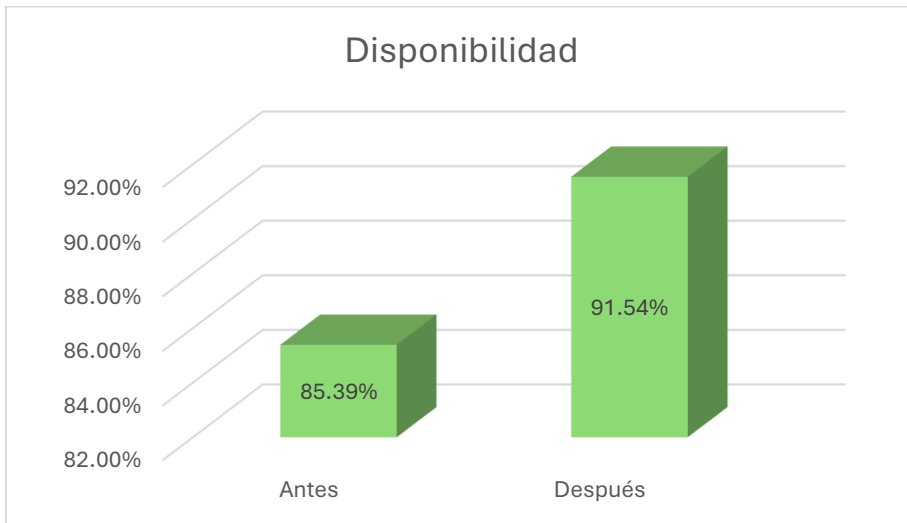
Comparación en promedio del tiempo para reparaciones (MTTR)



En la figura anterior se tienen los resultados obtenidos para el MTTR antes y después de la mejora. En esta se observa una reducción del tiempo en 4.16 horas que muestra un menor tiempo destinado a labores de reparación y mantenimiento. Esto implica mejores formas en los procesos de mantenimiento al contar con mejores herramientas, trabajadores capacitados o un uso óptimo de los recursos. Gracias a la reducción en este indicador se tiene un aumento de la disponibilidad de los motores.

Figura 21

Comparación en promedio de la disponibilidad



La figura compara la disponibilidad operativa de los motores eléctricos en el escenario ante y después de la aplicación del RCM, mostrando un incremento del 6.16%. Este incremento es especialmente relevante, ya que la disponibilidad refleja la capacidad de los equipos para estar operativos cuando se los necesita. La aplicación de la metodología RCM ha permitido no solo reducir las averías y mejorar la duración de reparación, sino también maximizar el tiempo en el que los motores están en funcionamiento, lo cual es crítico para mejorar la eficiencia global del sistema industrial.

Análisis de hipótesis

Ho: La implementación de la metodología RCM no incrementa la disponibilidad operativa de motores eléctricos en la empresa CEYCA.

Ha: La implementación de la metodología RCM incrementa la disponibilidad operativa de motores eléctricos en la empresa CEYCA.

Tabla 13

Comparación de promedios de indicadores

	Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
MTBF Antes	88,2600	6	5,26788	2,15060
MTBF Después	121,1000	6	18,67335	7,62336
MTTR Antes	15,0533	6	,70602	,28823
MTTR Después	10,8933	6	1,02203	,41724
Disponibilidad Antes	,853864	6	,0127209	,0051933
Disponibilidad Después	,915446	6	,0186778	,0076252

Nota. Desarrollo propio con SPSS v.26

En la tabla 13 se ilustra que el promedio de la disponibilidad previa (85.3%) es inferior a la disponibilidad posterior (91.5%). En ese sentido, no se cumple H_0 y se toma la hipótesis H_a . Luego, para evidenciar que el análisis fue adecuado se procede con la prueba T de Student.

Tabla 14

Prueba de hipótesis general

	Media	Desv. Desv.	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza		t	gl	Sig. (p-valor) bilateral
				Inf.	Sup.			
MTBF Pre – MTBF Post	-32,84	23,503	9,595	-57,50	-8,17	-3,422	5	,019
MTTR Pre – MTTR Post	4,16	1,568	,6401	2,514	5,80	6,498	5	,001
Disponibilidad Antes – Disponibilidad después	-,0615	,0297	,0121	-,092	-,030	-5,075	5	,004

Nota. Autoría propia con SPSS v.26

La tabla 15 presenta la prueba T de Student para la disponibilidad de equipos, mostrando que el cambio entre el escenario antes y después de la intervención tiene un p-

valor de $0.004 < 0.05$. A partir de esto, se rechaza H_0 y se acepta H_a , lo que indica que la implementación del RCM mejora la disponibilidad operativa de los motores eléctricos en la empresa CEYCA.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

La conclusión que se obtuvo de la investigación fue que la implementación del RCM aumenta la disponibilidad de motores eléctricos en la empresa CEYCA, dado que se pasa de un promedio previo de 85.3% a 91.5%; ello se contrastó con la estadística, alcanzando una significancia (p-valor) de $0.004 < 0.05$. En este sentido, se desarrolló la identificación de fallas, el empleo de la ficha de decisión RCM, el diseño de un procedimiento escrito de trabajo, la programación de mantenimiento preventivo con pautas claras y una duración adecuada, un formato de protocolo de pruebas y la planificación de auditorías.

Lo primordial al utilizar el RCM fue lograr la identificación de los modos de falla para los motores eléctricos. Utilizando análisis de datos, herramientas de priorización y formulación de diagnósticos se pudieron encontrar las fallas y clasificarlas considerando el impacto que tenían en la disponibilidad. De esta manera se pudo optimizar el uso de los recursos de mantenimiento en los problemas apremiantes, logrando aumentar la disponibilidad operativa.

Otro punto importante fue la necesidad de mejorar el mantenimiento preventivo a través de una mejora en los tiempos de inactividad. A través de una aplicación de mantenimiento proactivo se lograba realizar una intervención a los motores eléctricos cuando presentasen fallas, evitando así parar las operaciones cuando no lo necesitasen. De esta manera se consiguió la reducción de los tiempos de inactividad en 15% y

aumentando el nivel de disponibilidad de los motores. Añadiendo el uso de una monitorización en tiempo real se mejoró el uso de los recursos destinados al mantenimiento, lo cual incrementó también su operatividad.

Otro punto por destacar es la importancia en el tema de capacitaciones a los trabajadores, así como de la estandarización de los procesos. La implementación de una nueva metodología como el RCM requirió de la adaptación del personal y la formación de equipos técnicos que necesitaban aprender sobre estas nuevas tecnologías. Esto se consiguió a través de la formación de programas de capacitación destinados al personal relacionado. A su vez, la adopción de la estandarización en los procesos permitió una reducción en la ocurrencia de errores humanos y uniformizar las actividades para todo el personal. De esta manera se consiguió un incremento en el nivel de disponibilidad de los motores, así como la calidad del mantenimiento realizado.

Recomendaciones

La primera recomendación pasa por la importancia de la aplicación de técnicas como el Análisis de Causa Raíz (RCA) para la identificación de fallas críticas en los motores eléctricos. De este modo se encuentra cuáles son aquellas con un nivel de prioridad alto y se destinan los recursos de mantenimiento de manera óptima. Asimismo, es crucial registrar todas las fallas ocurridas de manera histórica con el fin de encontrar posibles patrones.

Otra recomendación se encuentra en la adopción de técnicas de monitoreo en vivo que contribuyan a la detección de errores y con ello tomar mejores decisiones respecto a

la realización de mantenimientos. Con ello se consigue una reducción de los tiempos de inoperatividad al parar los equipos solo cuando sea requerido.

Una tercera recomendación se encuentra en la elaboración de programas de capacitación que permitan brindarles a los trabajadores las herramientas necesarias en torno al mantenimiento RCM. Esto permite que el personal pueda responder rápidamente y de forma dinámica frente a posibles imprevistos. Para complementar ello, resulta importante realizar la estandarización de procesos para reducir la cantidad de errores humanos que se cometen al uniformizar los documentos y procedimientos operativos. Aplicando estas recomendaciones se logra un mayor nivel de disponibilidad y confiabilidad al mejorar las operaciones de mantenimiento.

REFERENCIAS

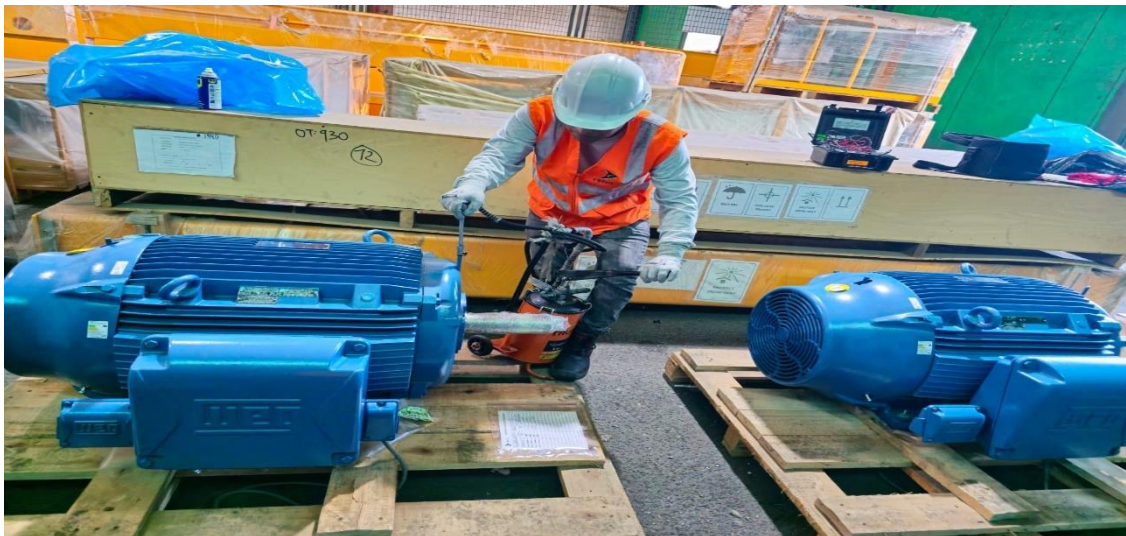
- Bhangu, N., Pahuja, G., & Singh, R. (2017). Enhancing reliability of thermal power plant by implementing RCM policy and developing reliability prediction model: a case study. *International Journal of System Assurance Engineering and Management Vol 8*, 1923–1936. doi:<https://doi.org/10.1007/s13198-016-0542-z>
- Caballero Gonzáles, C., & Clavero García, J. (2016). *UF1466 - Sistemas de almacenamiento*. Madrid, España: Ediciones Paraninfo.
- 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 Vol 23 N° 1*, 2-16. Recuperado de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/614/61458265006/61458265006.pdf>.
- Cárcel, F. (2016). Características del sistema TPM y RCM en la ingeniería de mantenimiento. *3C Tecnología Vol 5 N° 3*, 68-75. Recuperado de <https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2016/09/5.pdf>.
- Ccoyllo Meza, J., & Denil Marin, C. (2021). *Implementación del mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad de equipos en la empresa Jardel Perú S.A.C. Lima 2020*. Lima, Perú: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/68023>
- Choudhary, D., Tripathi, M., & Shankar, R. (2019). Reliability, availability and maintainability analysis of a cement plant: a case study. *International Journal of Quality & Reliability Management 36 (3)*, 298-313. doi:<https://doi.org/10.1108/IJQRM-10-2017-0215>
- Ciulla, J. (2016). *Reliability Leaders RCM Handbook*. Nueva York, Estados Unidos: TRP.
- Cuatrecasas Arbos, L. (2022). *Manual de organización e ingeniería de la producción y gestión de operaciones*. Barcelona, España: PROFIT Editorial.
- Eriksen, S., Bouwer, I., & Lutzen, M. (2021). An RCM approach for assessing reliability challenges and maintenance needs of unmanned cargo ships. *Reliability Engineering & System Safety Vol 210*, 107550. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107550>

- Escaño, J., Caballero, J., & Nuevo, A. (2019). *Integración de sistemas de automatización industrial*. Madrid, España: Ediciones Paraninfo S.A.
- Fernández de la Calle, I. (2020). *Seguridad funcional en instalaciones de proceso: Sistemas instrumentados de seguridad y analisis SIL*. Madrid, España: Ediciones Diaz de Santos.
- Fuentes, M., González, D., Cantú, M., & Praga, R. (2018). RCM implementation on plastic injection molding machine considering correlated failure modes and small size sample. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology Vol 95*, 3465–3473. doi:<https://doi.org/10.1007/s00170-017-1402-y>
- García Vaca, I. (2016). *Anatomía de sistemas: Su análisis y su apoyo*. Madrid, España: Diaz Santos.
- Jiménez, F. (2018). *Mantenimiento preventivo de sistemas de automatización industrial. ELEM0311*. Malaga, España: IC Editorial.
- 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)
- Kostrzewski, M., Gnap, J., Varjan, P., & Likos, M. (2020). Application of Simulation Methods for Study on Availability of One-Aisle Machine Order Picking Process. *Management Science and Informatics in Transport 22 (2)*, 107-114. doi:<https://doi.org/10.26552/com.C.2020.2.107-114>
- Kumar, A., Negi, G., Pant, S., Ram, M., & Dirimi, S. (2021). Availability-Cost Optimization of Butter Oil Processing System by Using Nature Inspired Optimization Algorithms. *RT&A 2 (64)*, 188-200. doi:[DOI: 10.24412/1932-2321-2021-264-188-200](https://doi.org/10.24412/1932-2321-2021-264-188-200)
- Núñez Molle, D., & Puchoc Tejada, J. (2021). *Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad para incrementar la disponibilidad operativa de la empresa distribuidora Bajopontina S.A. Lima, 2021*. Lima, Perú: Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/76374>
- O'Shall, D. (2017). *The Definitive Guide to Rotating Constant Master Keying RCM*. Florida, Estados Unidos: Locksmithing Education.


- Patterson, D., & Hennessy, J. (2018). *Estructura y diseño de computadoras*. Barcelona, España: Reverte.
- Piechnicki, F., Loures, E., & Santos, E. (2017). A conceptual framework of knowledge conciliation to decision making support in RCM deployment. *Procedia Manufacturing Vol 11*, 1135-1144. doi:<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.235>
- Rojas Martinez, L., Rojas Martinez, C., & Valdez Cervantes, L. (2017). Desarrollo y aplicación de plan de mantenimiento RCM en la automatización de líneas de inspección con equipos Allen-Bradley. *15th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology*, 1-8. <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2017.1.1.353>.
- Salazar Zegarra, J. (2019). *Propuesta de plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC) para incrementar la disponibilidad de los tractocamiones Freightliner de la empresa Transportes Pakatnamu SAC*. Lambayeque, Perú: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Obtenido de <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/8019>
- Thawkar, A., Tambe, P., & Deshpande, V. (2018). A reliability centred maintenance approach for assessing the impact of maintenance for availability improvement of carding machine. *International Journal of Process Management and Benchmarking 8 (3)*, 318-339. doi:DOI:10.1504/IJPMB.2018.092891
- Tudon, A., Zuñiga, M., Lerma, M., & Méndez, L. (2019). Implementation of the RCM methodology in pleating machine. *Journal of Quantitative and Statistical Analysis Vol 6 N°8*, 13-16. doi:DOI:10.35429/JQSA.2019.19.6.13.15
- Valenzuela, M., Rodríguez, A., Altamirano, E., Marcelo, G., & Álvarez, J. (2020). Propuesta de mejora del plan de gestión de mantenimiento basado en RCM y Lean Office en el proceso de inyección de polímeros. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação N° E37*, 41-51.

ANEXOS


Anexo 1. Mantenimiento de motor eléctrico.





Anexo 2. Procedimiento de trabajo preventivo para motores eléctricos.

 CEYCA		PLAN DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS	
PROYECTO YANACOA	PROCEDIMIENTO DE TRABAJO		EP- 01
	MOTORES ELÉCTRICOS		
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 roscas 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.		


Anexo 3. Procedimiento de trabajo correctivo para motores eléctricos.

	PLAN DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS	
PROYECTO YANACOCHA	PROCEDIMIENTO DE TRABAJO	EP- 01
	MOTORES ELÉCTRICOS	
Tareas a realizar	Descripción de Revisiones	
A	Desmontar el motor eléctrico	
B	Reparación de contactor eléctrico	
C	Sustitución de contactor eléctrico	
D	Alineamiento del eje de motor	
E	Cambio de terminales eléctricos sul fatados	
F	Barnizada de bobina del motor	
G	Retiro de rotor del motor eléctrico	
H	Fijación de soportes del motor eléctrico	
I	Medir la tensión de alimentación, ajustar al valor correcto.	
J	Sustitución de las bobinas del rotor	
K	Montaje de motor Eléctrico	

Anexo 4. Ficha técnica de motor eléctrico.

 CEYCA		FICHA TÉCNICA DE MOTOR			
EMPRESA:		O.C:			
LOCACIÓN:		FECHA:			
TAG:		BOX:			
MARCA:	USMOTORS	FRECUENCIA:	60 HZ		
N SERIE:	T111171420 - 0001	N FASES:	3		
MODELO	171425	RPM:	1775		
POTENCIA:	30 HP	GRADO DE PROTECCIÓN	IP55		
TENSIÓN:	460 V	FACTOR DE SERVICIO:	1.15		
CORRIENTE	35.7 AMP	FRAME:	326 T		
					
OBSERVACIONES					
TÉCNICO RESPONSABLE			SUPERVISOR RESPONSABLE		

Anexo 5. Ficha de registro de mantenimiento del motor eléctrico

 CEYCA	PLAN DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS	
PROYECTO YANACOCHA	HOJA DE REGISTRO DE MANTENIMIENTO	EP- 01
	MOTORES ELÉCTRICOS	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:		