

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“USO DE LA METODOLOGÍA MCC PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD OPERATIVA DE ESCALERAS ELÉCTRICAS EN UN CENTRO COMERCIAL, LIMA METROPOLITANA, 2020”

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autor:

Jose Miguel Escudero Vega

Asesor:

Ing. Julio Douglas Vergara Trujillo

Lima - Perú

2021



DEDICATORIA

Dedico esta tesis principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre, por ser el pilar más importante y desmostarme siempre su apoyo incondicional. A mi esposa e hijas que son mi motivación más grande para superarme cada día.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas.

A mi madre por haberme apoyado y alentado en todo este proceso. A mi esposa por su apoyo incondicional para poder lograr este objetivo profesional. A la Universidad Privada del Norte sede los Olivos por el conocimiento adquirido en estos años.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ECUACIONES	9
RESUMEN EJECUTIVO.....	10
ABSTRACT	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	21
CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA	46
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	96
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMEDADIONES	109
REFERENCIAS	112
ANEXOS	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Información de la empresa	18
Tabla 2	Elementos previos para la aplicación de la metodología MCC.....	30
Tabla 3	Ventajas y debilidades de la metodología MCC	31
Tabla 4	Hoja de decisión de la metodología MCC.....	34
Tabla 5	Análisis FMEA.....	35
Tabla 6	Incremento de la disponibilidad	40
Tabla 7	Estrategias de desarrollo.....	49
Tabla 8	Tareas de mantenimiento inicial.....	51
Tabla 9	Tiempo medio entre fallas (MTBF) inicial	52
Tabla 10	Tiempo medio para reparaciones (MTTR) inicial.....	53
Tabla 11	Disponibilidad inicial	54
Tabla 12	Puntuaciones de las causas	57
Tabla 13	Cronograma de implementación.....	59
Tabla 14	Análisis de fallas inicial	61
Tabla 15	Análisis de nivel prioritario de riesgo (NPR) inicial.....	63
Tabla 16	Valores para el nivel de prioridad de riesgo previo.....	63
Tabla 17	Registro de inspección del trabajo estandarizado.....	68
Tabla 18	Diagrama de análisis del proceso	70
Tabla 19	Cronograma de limpieza.....	71
Tabla 20	Formato de evaluación del orden en el área	72
Tabla 21	Formato de evaluación del orden en el área	73
Tabla 22	Cronograma de capacitación	74
Tabla 23	Formato de asistencia de capacitación	75
Tabla 24	Formato de evaluación de capacitación.....	77
Tabla 25	Hoja de decisión MCC	79
Tabla 26	Análisis de fallas inicial	82
Tabla 27	Análisis de nivel prioritario de riesgo (NPR) posterior.....	84
Tabla 28	Valores para el nivel de prioridad de riesgo previo posterior	84
Tabla 29	Formato de inspección de mantenimiento.....	86
Tabla 30	Formato de inspección de mantenimiento.....	87

Tabla 31 Programa de supervisión anual.....	88
Tabla 32 Tiempo medio entre fallas (MTBF) final	90
Tabla 33 Tiempo medio para reparaciones (MTTR) final	91
Tabla 34 Disponibilidad final	92
Tabla 35 Cálculo de costos de implementación	93
Tabla 36 Ingreso económico adicional por la implementación.....	94
Tabla 37 Análisis financiero de la implementación	95
Tabla 38 Análisis de la evolución de TM.....	96
Tabla 39 Análisis de la evolución del CP.....	98
Tabla 40 Análisis de la evolución del NPR.....	99
Tabla 41 Análisis de la evolución del MTBF.....	101
Tabla 42 Análisis de la evolución del MTTR	103
Tabla 43 Análisis de la evolución de la disponibilidad.....	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Organigrama de la empresa.....	20
Figura 2 Análisis de la confiabilidad.....	29
Figura 3 Fases de la aplicación MCC.....	33
Figura 4 Distribución del tiempo de los equipos.....	38
Figura 5 Factores para la disponibilidad de equipos	39
Figura 6 Tiempo medio entre fallas (MTBF) inicial	51
Figura 7 Tiempo medio entre fallas (MTBF) inicial	52
Figura 8 Tiempo medio para reparaciones (MTTR) inicial	53
Figura 9 Disponibilidad inicial	54
Figura 10 Diagrama de Ishikawa.....	55
Figura 11 Diagrama de Pareto	58
Figura 12 Análisis de frecuencia de fallas inicial.....	62
Figura 13 Evidencia de la identificación de fallas inicial.....	64
Figura 14 Procedimiento para el trabajo de mantenimiento.....	65
Figura 15 Evidencia de la gestión del trabajo de mantenimiento.....	66
Figura 16 Ficha para el control de mantenimiento	67
Figura 17 Diagrama de operaciones del proceso.....	69
Figura 18 Procedimiento para la capacitación.....	76
Figura 19 Evidencia de las reuniones de capacitación (I)	78
Figura 20 Evidencia de mantenimiento (I)	81
Figura 21 Análisis de frecuencia de fallas final	83
Figura 22 Evidencia de mantenimiento (II).....	85
Figura 23 Tiempo medio entre fallas (MTBF) final.....	90
Figura 24 Tiempo medio para reparaciones (MTTR) final	91
Figura 25 Disponibilidad inicial	92
Figura 26 Análisis de la evolución de TM	97
Figura 27 Análisis de la evolución del CP	98
Figura 28 Análisis de la evolución del NPR	100
Figura 29 Análisis de la evolución del MTBF	102
Figura 30 Análisis de la evolución del MTBF	103
Figura 31 Análisis de la evolución de disponibilidad	105

Figura 32 Análisis comparativo por escenarios de la metodología MCC 106

Figura 33 Análisis comparativo por escenarios de las dimensiones de la disponibilidad. 107

Figura 34 Análisis comparativo por escenarios de la disponibilidad 108

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Cálculo del cumplimiento de tareas de mantenimiento	36
Ecuación 2 Cálculo de la confiabilidad del proceso.....	37
Ecuación 3 Cálculo del prioridad de riesgo FMEA.....	37
Ecuación 4 Cálculo del tiempo medio entre fallas	41
Ecuación 5 Cálculo del tiempo medio para reparaciones.....	42

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación fue desarrollada con el objetivo principal de implementar la metodología MCC para incrementar la disponibilidad operativa de escaleras eléctricas en un centro comercial, Lima Metropolitana, 2020; para el cálculo de la disponibilidad se emplearon los indicadores del tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo medio para reparaciones (MTTR). La investigación desarrolló una metodología de tipo aplicado, de enfoque cuantitativo, de nivel explicativo y de diseño experimental; asimismo, la población y muestra corresponde a 30 escaleras eléctricas del centro comercial.

En el desarrollo de la experiencia se evidenciaron fallas funcionales que influyen sobre la disponibilidad operativa de las escaleras eléctricas, a través del análisis prioritario de riesgo donde se identificaron problemas como el ruido en la curva del pasamano, el recalentamiento de bobina de freno, el contacto de cadena de pasos y la presencia de fusibles SIF1 con averías, entre los más importantes. A partir de la implementación de la metodología MCC, la comparación de escenarios mostró que el MTBF pasó de 62.98 a 126.5 y el MTTR se redujo de 5.66 a 4.55 horas, de forma complementaria, el análisis económico determina una rentabilidad a través del VAN de S/ 15,342 soles y la tasa interna de retorno (TIR) de 65.17%. Por lo tanto, la disponibilidad se incrementó de 91.7% en promedio del periodo previo a 96.1% en el promedio del escenario posterior a los cambios. Finalmente, se concluye que la metodología MCC incrementa la disponibilidad operativa de escaleras eléctricas en el centro comercial.

ABSTRACT

This research was developed with the main objective of implementing the MCC methodology to increase the operational availability of escalators in a shopping center, Lima Metropolitana, 2020; For the calculation of availability, the indicators of mean time between failures (MTBF) and mean time to repairs (MTTR) were used. The research developed a methodology of applied type, quantitative approach, explanatory level and experimental design; likewise, the population and sample correspond to 30 escalators in the shopping center.

In the development of the experience, functional failures were evidenced that influence the operational availability of the escalators, through the priority risk analysis where problems such as noise in the curve of the handrail, overheating of the brake coil, and contact were identified. chain of steps and the presence of faulty SIF1 fuses, among the most important. From the implementation of the MCC methodology, the comparison of scenarios showed that the MTBF went from 62.98 to 126.5 and the MTTR fell from 5.66 to 4.55 hours, in a complementary way, the economic analysis determines a profitability through the NPV of S / 15,342 soles and the internal rate of return (IRR) of 65.17%. Therefore, availability increased from 91.7% in the average of the period prior to 96.1% in the average of the scenario after the changes. Finally, it is concluded that the MCC methodology increases the operational availability of escalators in the shopping center.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de investigación

1.1.1. Realidad problemática

A nivel internacional, se cuenta con la información con Eriksen, Bouwer y Lutzen (2021) la gran cantidad de maquinarias presenta problemas relacionados con la disponibilidad que aún no se han resuelto. El análisis muestra que el método MCC es generalmente aplicable al examen de los problemas de confiabilidad y mantenimiento, pero existen limitaciones importantes que se relaciona con el tipo de equipo, la frecuencia de las reparaciones, los costos de las piezas, entre otros. Los métodos tradicionales carecen de un proceso sistemático para evaluar los efectos de las medidas de mantenimiento preventivas versus correctivas; en este sentido, el método también carece de un procedimiento para asegurar que se incluya el efecto de la duración de las operaciones en el desarrollo de fallas potenciales en los sistemas de maquinaria. A partir de ello, se proponen mejoras en base al método MCC para abordar estas limitaciones y analizar un sistema de maquinaria para situaciones operativas.

De forma similar, en Karajagikar y Sonawane (2020) se comenta que los problemas, fallas o averías que ocurren en las industrias y ocasionan a una gran pérdida de productividad, pérdida de producción para el rendimiento esperado de la planta y pérdidas económicas importantes. Para ello, se han diseñado estrategia de mantenimiento como parte crucial para la mejora de la disponibilidad; entonces, existen varias técnicas adoptadas para el mantenimiento, como el mantenimiento de averías, el mantenimiento preventivo, el mantenimiento basado en condiciones y el mantenimiento centrado en la confiabilidad. Esta última metodología incluye una recopilación sistemática de datos de fallas y reparaciones de sistemas y subsistemas durante periodos.

Posteriormente, se analizan los efecto en el tiempo medio entre fallas y el tiempo medio para reparar. Otro factor importante es el análisis de criticidad de los equipo; en la gran mayoría de casos, la decisión del análisis posterior a la criticidad, como parte de una política para la planificación de la estrategia de mantenimiento, se decide mediante el método de comparación por pares del proceso jerárquico analítico.

De acuerdo con Riswanto et al. (2019) en los últimos años se ha observado un creciente interés para la mejora de la disponibilidad de los equipos, en tanto que el análisis de las condiciones de trabajo y las labores de mantenimiento pueden influir para alargar su vida útil; ello se debe a que la industria a nivel mundial compite para obtener ganancias tanto como sea posible. La falla de producción es un evento que se desea evitar, porque la detención de los equipos significa horas perdidas; en este sentido, los gastos de mantenimiento deben ser cada vez más bajos como parte de un esfuerzo de optimización de recursos para obtener el máximo beneficio.

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es un método ampliamente utilizado para mejorar las tareas de mantenimiento de equipos dinámicos. Esta metodología se utilizó por primera vez en la industria aeronáutica en la década de 1980 para lograr seguridad y confiabilidad y a lo largo de los años ha sufrido modificaciones que permiten mantenerla vigente. El objetivo principal de es reducir los costos de mantenimiento, centrándose en las funciones más importantes de un sistema, y evitar o eliminar acciones de mantenimiento innecesarias.

Para Suryono y Rosyidi (2018) la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad es un método para determinar la tarea de mantenimiento para garantizar la confiabilidad de un sistema, dada su experiencia en Indonesia. El MMC es útil para superar las causas de falla que traerá decisiones de mantenimiento que se centran en el prevención de este tipo de fallas que ocurren con frecuencia. El método puede proporcionar ventajas como la seguridad y la integridad del medio ambiente, el alcance de logros operativos, mayor eficacia de la operación y reducción de los costos de mantenimiento y sobre todo, el incremento de la disponibilidad y confiabilidad del equipo, para una vida útil más larga de los componentes del equipo.

El mantenimiento excesivo puede mejorar la confiabilidad, pero el costo de mantenimiento se verá incrementado de forma considerable; por lo tanto, una política de mantenimiento es necesaria para un proceso de producción que proporcione ahorros para la empresa a través de una menor cantidad de reparaciones y cambios de piezas

Según Valenzuela et al. (2020) una adecuada gestión de los planes de mantenimiento permite incrementar la disponibilidad de los equipos, en tanto que las nuevas tendencias en

el sector industrial. La automatización de los procesos y la digitalización de la información permite tener a la mano nuevas herramientas y mecanismos para las labores de mantenimiento; a partir de ello se puede generar una política de prevención que permite identificar las fallas y averías antes que estas sucedan; por otro lado, se debe enfrentar el deterioro de los equipos que por el paso de los años funcionan de forma menos eficiente y retrasan la producción o muchas veces la detiene por completo. El mantenimiento centrado en la confiabilidad proporciona los lineamientos necesarios para una visión de cambio que puede ser usada en compañía de otros enfoques de la gestión, tales como el Lean, para dar un soporte mucho más fuerte a la ejecución de cambios, puesto que se persigue la eliminación de desperdicios y la búsqueda de la mejora continua.

Para Ypanaqué, Chucuya y Esquivel (2017) el mantenimiento de carácter preventivo es importante como parte de los mecanismos de la metodología MCC para lograr un incremento en la disponibilidad de los equipos. Uno de los objetivos claves para el crecimiento de las empresas es la disminución de costos, para ello se debe eliminar algunas reparaciones que pueden ser previstas y anticipadas gracias al mantenimiento. Para identificar la evolución de la disponibilidad de los equipos se cuenta con indicadores claves como el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio para reparaciones (MTTR), lo cual se basa en la revisión periódica y continua de los elementos críticos a mejorar. Entre las herramientas empleadas dentro de esta metodología se menciona la ficha de recolección de datos, el formato para el mantenimiento y el reporte de fallas, el cual permite conocer a detalle el modo de las averías, su frecuencia y la alternativas de solución.

De forma similar, en Quiñones (2016) se comenta que el mantenimiento centrado en la confiabilidad permite mejorar la disponibilidad de los equipos; ello se debe a que se debe contar con un adecuado análisis y solución de las causas raíz, para luego plantear soluciones adecuadas en el tema de la gestión del mantenimiento. En este sentido, la metodología se complementa con formas de analizar las fallas, tales como el AMEF, en donde se diseñan hojas de decisión que permiten seguir una secuencia en base a prioridades de riesgo en la aparición. El MCC no es solo un mecanismo para el mantenimiento de los equipos, sino que permite un enfoque orientado a la mejora continua de las actividades, se busca alargar la vida útil de los equipos y así tener una visión clara en el objetivo del mantenimiento.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera la implementación de la metodología MCC incrementará la disponibilidad operativa de escaleras eléctricas en un centro comercial, Lima Metropolitana, 2020?

1.2.2. Problemas específicos

¿Cuál es el resultado obtenido de la aplicación de la metodología MCC en las actividades de mantenimiento, confiabilidad y nivel de prioridad de riesgo de escaleras eléctricas en un centro comercial, Lima Metropolitana, 2020?

¿Cuál es el resultado obtenido de la aplicación de la metodología MCC en el tiempo medio entre fallas de escaleras eléctricas en un centro comercial, Lima Metropolitana, 2020?

¿Cuál es el resultado obtenido de la aplicación de la metodología MCC en el tiempo medio para reparaciones de escaleras eléctricas en un centro comercial, Lima Metropolitana, 2020?

1.3. Justificación del problema

De acuerdo con Silvestre y Huamán (2019) la justificación teórica de la investigación “se sustenta en que los resultados de la investigación podrían generalizarse e incorporarse al conocimiento científico y además servirán para llenar vacíos cognoscitivos existentes o refutar resultados de otras investigaciones o ampliar un modelo teórico” (p.172). En otras palabras, a través de la revisión teórica de los elementos implicados en el mantenimiento de equipos y la confiabilidad se podrá incrementar el conocimiento actual y se podrá dar una crítica en base a las comparaciones de acuerdo con diversos autores.

En palabras de Valderrama (2019) sobre la justificación práctica, se menciona que “responde a la pregunta: ¿el resultado de la investigación ayudará a solucionar los problemas de una empresa? De igual manera, responde a la pregunta: ¿el resultado de la investigación

será una solución (..) que permitirá mejorar la situación actual?” (p.141). En este sentido, la investigación pretende dar solución a un problema real en la compañía y en base a la aplicación de nuevos procesos y cambios se logra un impacto en la situación inicial, mejorando la disponibilidad de los equipos como finalidad tangible.

Para Ñaupas, Valdivia, Palacios y Romero (2018) la justificación metodológica se da “cuando se indica que el uso de determinadas técnicas e instrumentos de investigación pueden servir para otras investigaciones futuras. Puede tratarse de técnicas o instrumentos novedosos como cuestionarios, test, pruebas de hipótesis, modelos, diagramas de muestreo, etc.” (p.221). A partir de ello, es posible mencionar que en la presente investigación se emplearan técnicas e instrumentos como parte de la metodología MCC para lograr cambios en la disponibilidad, lo cual implica el diseño de formatos y diagramas para medir los datos y así plantear alternativas de mejora.

Para Hernández y Mendoza (2018), “la viabilidad es un elemento que también se valora y se pondera según el tiempo, los recursos y las capacidades ¿es posible llevar a cabo el estudio? ¿Tengo o tenemos los recursos para hacerlo?” (p.396). Dado que la finalidad de toda empresa es obtener beneficios económicos por las operaciones, el implemento de la metodología MCC permite reducir los costos por reparación, así como la compra de piezas o repuestos para los equipos en tanto que se alarga la vida útil de los mismos; por lo tanto, se cuenta con una justificación de carácter económico.

Según Silvestre y Huamán (2019) la justificación de carácter social “se refiere a la utilidad, beneficios y la importancia que tendrá los resultados de la investigación para la sociedad o el ámbito sociográfico donde se realiza. Responde a la pregunta ¿Qué alcance social tiene?” (p.172). A través de la mejora de las labores de mantenimiento, se emite una menor emisión de gases contaminantes, además que se mantienen los equipos con mayor disponibilidad; ambos elementos muestran cambios esenciales para la satisfacción del cliente; por lo tanto, se mejora la percepción de la sociedad en conjunto.

1.3.1. Limitaciones

Con relación a las limitaciones, se evidenció la falta de acceso a información de la empresa por parte del empleador.

Limitaciones de tiempo, al trabajar y estudiar por parte del investigador, lo cual dificulta la extracción de datos o información para el desarrollo del presente estudio.

Confiabilidad de registros históricos previo a la implementación, la falta de datos estadísticos para obtener los ratios dificulta precisar las pérdidas y ganancias.

Escasa documentación en la empresa y bibliográfica referente a máquinas de tipo escaleras eléctricas.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Implementación de la metodología MCC para incrementar la disponibilidad operativa de escaleras eléctricas en un centro comercial, Lima Metropolitana, 2020

1.4.2. Objetivos específicos

Incremento de las tareas de mantenimiento, confiabilidad y prioridad de riesgo operativo de escaleras eléctricas mediante la metodología MCC en un centro comercial, Lima Metropolitana, 2020.

Incremento del tiempo medio entre fallas de escaleras eléctricas mediante la metodología MCC en un centro comercial, Lima Metropolitana, 2020.

Reducción del tiempo medio para reparaciones de escaleras eléctricas mediante la metodología MCC en un centro comercial, Lima Metropolitana, 2020.

1.5. Antecedentes o descripción general de la empresa

1.5.1. Antecedentes de la empresa

En esta sección se comentará sobre los datos de la empresa en análisis, a saber, Mall Aventura S.A. que cuenta con presencia en 3 ciudades del Perú, siendo la sede de estudio el Mall Aventura Santa Anita en Lima. La empresa inició sus operaciones desde julio 2016 y ha logrado transformar espacios comunes en lugares para experiencias extraordinarias. En la misma línea, la empresa cuenta con un enfoque de mejorar el entorno y la calidad de vida de las comunidades en donde se establece, y en el 2017 se hizo acreedora del premio "Great Place to Work". Otros datos generales se presentan a través de la siguiente tabla.

Tabla 1

Información de la empresa

Ítems	Información
Nombre	Mall Aventura S. A.
RUC	20601315051
CIU	70109 – Actividades inmobiliarias
Dirección	Jr. Minería 122, Piso 10, Santa Anita, Lima.
Teléfono	(511) 626-6868

Fuente: Elaboración propia

Misión

La misión de la empresa es brindar espacios de calidad, confort y limpios para fomentar el comercio e interacción de agentes.

Visión

La visión es lograr posicionarse como un centro de esparcimiento para la comodidad de las familias, a fin de lograr experiencias únicas con buenos momentos.

Valores

Se trabajan con valores de respeto, honestidad y transparencia.

Organigrama

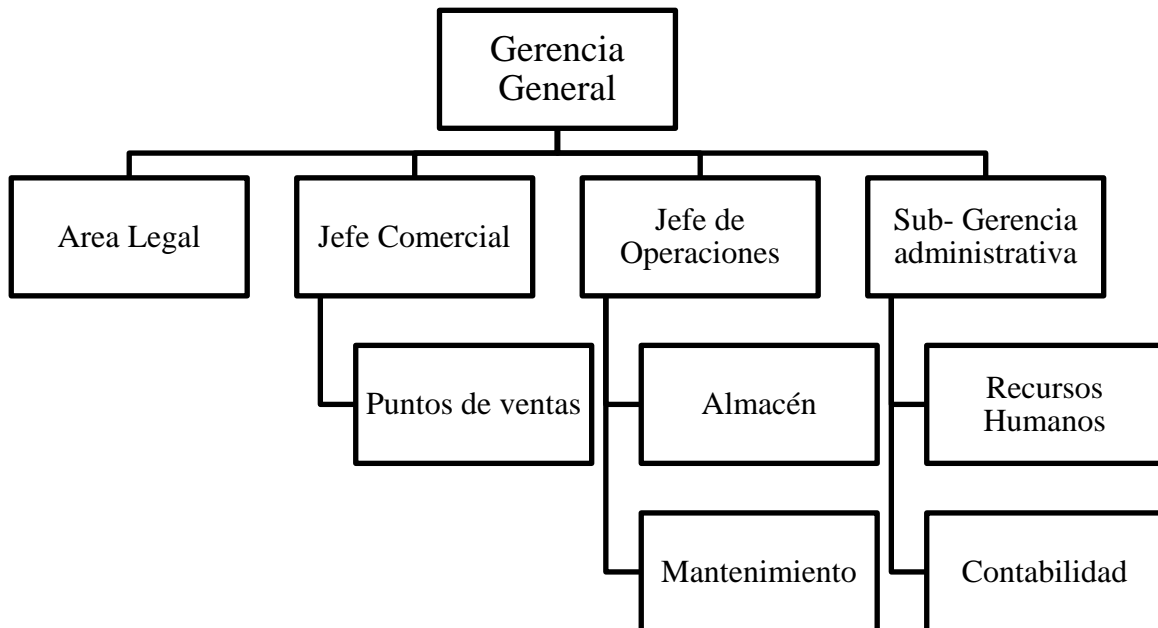


Figura 1 Organigrama de la empresa

Fuente: Elaboración propia

Productos y Servicios

- Servicios Familiares: Para el esparcimiento y entretenimiento de las familias, el centro comercial cuenta con baños, cambiadores de bebés, zona de juegos infantiles y locales de experiencia personalizada.
- Servicios de atención a nuestros visitantes: Para la comodidad de todo tipo de visitantes se cuenta con espacios de sillas para bebés, cajeros, directorios táctiles, sillas de ruedas y zonas de coworking.
- Servicio de transporte y movilidad: En caso la visita sea a través de un vehículo, se cuenta con estacionamiento de bicicletas, lavado de autos, servicio de taxi por terceros y estacionamiento para autos.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

De acuerdo con Chaquinga (2018) en su investigación llamada *Análisis de la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de la central de generación de CONACO 19 del bloque 61, PETROAMAZONAS EP*, para alcanzar el grado académico de Magister en Gestión del Mantenimiento Industrial por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador; tuvo el objetivo principal de implementar la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad para incrementar la disponibilidad de los equipos en la mencionada sede. En este sentido, fue necesario establecer los índices y valores para la confiabilidad de los equipos en base a las operaciones y sus tiempos en el registro histórico, luego se establecen mecanismos de mantenimiento para lograr una mejora en base a la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad, a partir de ello, se definen los nuevos valores de la disponibilidad y finalmente, se plantean cambios en la gestión del mantenimiento para lograr una mejora sostenida. La investigación cuenta con una metodología de tipo aplicado, de enfoque cuantitativo, de nivel descriptivo y de diseño experimental; adicionalmente, la población y muestra corresponde a 8 generadores en evaluación.

En el análisis de los resultados se observan los cambios en el sistema de mantenimiento con el empleo de diagramas y formatos para mejorar el procedimiento inicial. A partir de ello, se logra un incremento en el tiempo medio entre fallas de los equipos (MTBF) que pasa de 77.3% a 75%; por otro lado, el tiempo medio para las reparaciones (MTTR) se reduce de 6.25 a 4.17 horas. Dichos cálculos permiten determinar que la disponibilidad final de los generados se encuentre entre el 94.73% y 99.98%. Finalmente, se recomienda la compra anticipada de repuestos críticos como filtros de aire, filtros de combustible, regulares de voltaje, entre otros.

Para Montalvo et al. (2018) en su investigación *Mantenimiento centrado en la confiabilidad para motocompresores*, como parte de un artículo de investigación para una revista científica, tuvo la finalidad de implementar la metodología MCC para lograr un incremento

en la disponibilidad de los equipos. Para dicho cambio fue necesario el análisis de la situación inicial, la identificación de los puntos críticos, el planteamiento de la mejora para su posterior ejecución y la comparación de resultados a través de los indicadores del tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo medio para reparaciones (MTTR). La metodología empleada corresponde al tipo aplicado, de enfoque cuantitativo y de diseño experimental, la población y muestra corresponde a 3 estaciones de motocompresores y la técnica para la recolección de datos fue la observación directa.

Los resultados indican que la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad proporciona grandes e importantes cambios en el desempeño de las labores de mantenimiento, en tanto que se organiza mejor el trabajo y se logra efectuar un proceso mucho más certero. Como muestra de ello, se muestran cambios en los indicadores del tiempo medio entre fallas (MTBF) que paso de 632.05 a 720.51 horas, en tanto que el tiempo medio entre reparaciones (MTTR) disminuyó de 5.95 a 3.20 horas; dicha situación determina una mayor disponibilidad de los equipos, dado que el indicador se incrementó de 99.53% a 99.78%. Por lo tanto, se concluye que existe una relación estrecha en la implementación de la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad y la disponibilidad.

En el trabajo desarrollado por Mendoza (2016) titulado *Sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para motores eléctricos de inducción*, para optar por el grado académico de magister en Gestión del Mantenimiento por la Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia; tuvo el objetivo principal de implementar la metodología MCC para lograr una mejora de la disponibilidad de los equipos. Para lograr dicha finalidad fue necesario la recolección de datos iniciales sobre la operatividad de los equipos, capacitar al personal de trabajo para un mejor desempeño de las actividades, efectuar un análisis sobre los parámetros antes y después de la implementación y seleccionar las mejoras actividades para reducir el deterioro por el mecanismo de operación. Se cuenta con una metodología de tipo aplicado, de enfoque cuantitativo, de nivel descriptivo y de diseño experimental; adicionalmente, la población y muestra corresponde a 76 motores de 19 sistemas distintos.

El escenario inicial determina que el tiempo medio entre fallas (MTBF) es de 510 días, en tanto que el tiempo medio para reparaciones es de 38 días, lo cual determina una disponibilidad de 93% y adicionalmente, el tiempo muerto es de 7%. Luego de la

implementación de mejoras, el tiempo medio entre fallas (MTBF) se incrementa a 666.27 días, el tiempo para las reparaciones en 38 días y la disponibilidad aumenta a 95%. Ante ello, se concluye que la metodología es eficiente para un cambio en la disponibilidad y puede ser empleada para cualquier equipo o sistema que presente inconvenientes a través del conocimiento del proceso de producción o funcionamiento.

Según Vishnu y Regikumar (2016) en su investigación llamada *Reliability Based Maintenance Strategy Selection in Process Plants: A Case Study*; como parte de un artículo para la revista científica *Procedia Technology*; tuvo la finalidad de mejorar la disponibilidad de los equipos en una planta procesadora a través de la simulación de implementación de la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad para la selección de la estrategia de mantenimiento se convirtió en una de las actividades de toma de decisiones más importantes de la industria; la importancia de la función de mantenimiento ha aumentado debido a su papel en mantener y mejorar la disponibilidad, la calidad del producto, los requisitos de seguridad y los niveles de costos operativos de las plantas de proceso. La investigación cuenta con una metodología de tipo aplicado, de enfoque cuantitativo, de nivel descriptivo y de diseño experimental; adicionalmente, la población y muestra corresponde a 10 equipos y la técnica para la recolección de datos fue la observación directa a través de fichas y formatos.

A partir de la implementación de mejora se logra un cambio que se expresa en un tiempo medio entre fallas (MTBF) de 109 días y un tiempo medio para reparaciones (MTTR) de 4 horas, ello determina un nivel de disponibilidad de 99.84%. El resultado final refleja todos los equipos de criticidad alta que necesitan una estrategia de mantenimiento preventivo en lugar del mantenimiento programado y el mantenimiento de averías es suficiente para todos los demás equipos. Por otro lado, el costo adicional incurrido al adoptar el mantenimiento preventivo se equilibrará con el ahorro de costos al adoptar el mantenimiento de averías para el resto de las máquinas.

En el trabajo desarrollado por Lombardo (2016) denominado *Plan de mejoramiento de disponibilidad en planta de refinería de cobre, división CODELCO Norte*, para alcanzar el título profesional de Ingeniero Industrial por la Universidad Técnica Federico Santa María, Chile; la cual tuvo como objetivo central desarrollar un plan de mejora en la disponibilidad

de los equipos de la planta a través del empleo del mantenimiento centrado en la confiabilidad. En este sentido fue necesario efectuar el estudio de los procesos de mantenimiento dentro de la planta de cobre, luego se analizó la información recolectada durante el periodo para plantear cambios, a continuación se emplea un software para obtener los indicadores claves en la toma de decisiones, se aplica el mantenimiento centrado en la confiabilidad para finalmente, proponer mejoras. La investigación cuenta con una metodología de tipo aplicado, de enfoque cuantitativo, de nivel descriptivo y de diseño no experimental; adicionalmente, la población y muestra corresponde a 3 equipos evaluados durante un año.

Los resultados permiten conocer la situación de la disponibilidad de los equipos, en tanto que se encuentran valores para el tiempo medio entre fallas (MTBF) de entre 7.25 y 7.06 horas para cada máquina; por otro lado el tiempo medio para reparaciones (MTTR) fue entre 1.21 y 1.06 horas. Ante ello se determina un nivel de indisponibilidad del 19.79%, lo cual impacta de forma negativa en los costos, dado que se generan ineficiencias calculadas en USD 109 dólares al mes. Ante ello, se plantean estrategias de mejora en base al análisis de los procesos operativos que desarrollan los equipos, circuitos de funcionamiento y distribución del trabajo, así como un cambio en la gestión.

2.1.2. Antecedentes nacionales

De acuerdo con el trabajo desarrollado por Narváez y Palza (2020) denominado *Aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para mejorar los indicadores de la flota de camiones eléctricos Komatsu 730E de una empresa minera de La Libertad*, para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico por la Universidad César Vallejo, tuvo el objetivo principal de implementar la metodología MCC para lograr cambios significativos en la disponibilidad de los mencionados equipos. En el alcance de esta finalidad fue necesario plantear cambios que logren reducir el tiempo medio para reparaciones (MTTR) e incrementar el tiempo medio entre fallas (MTBF); ello se hace posible a través de la identificación de los puntos críticos en el proceso de mantenimiento, para posteriormente, definir tareas basadas en la mejora de la confiabilidad y aplicar los cambios. En este sentido, se cuenta con una metodología de tipo aplicado, de enfoque cuantitativo, de nivel descriptivo – explicativo y de diseño experimental. La población y muestra corresponde a 19 equipos; las técnicas empleadas para la recolección de datos fue la revisión bibliográfica, el acceso a bases de datos y la observación directa.

En el análisis de los resultados se observa la creación de diagramas y procesos para el mantenimiento adecuado de los equipos, en tanto que con la ayuda del análisis de modos de fallas y efectos se determinó 31 fallas funcionales que fueron atendidas con alta prioridad. Respecto a la disponibilidad, se logró una mejora de 84.5% a 85.7%, lo cual demuestra que los equipos no brindaban el nivel de operaciones adecuado. De forma similar, en la evaluación del MTBF, el indicador pasó de 37.08 a 43 horas de operación sin fallas y el MTTR se redujo de 4.06 a 2.8 horas. Finalmente, el análisis económico determina una tasa interna de retorno de 95.5% que incrementa el nivel de rentabilidad de la empresa en 10%.

Según Arce y Tenorio (2020) en su trabajo titulado *Implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para incrementar la disponibilidad de los equipos de aire acondicionado de la empresa COOL LIDER TECH S.A.C.*, para optar por el título profesional en Ingeniería Industrial por la Universidad Privada del Norte; tuvo la finalidad de determinar en qué medida la metodología MCC para lograr cambios en la disponibilidad de los equipos. Para ello fue necesario el análisis de la situación inicial a fin de identificar los puntos críticos; por otro lado, se logró medir el nivel de capacitación de los trabajadores

antes y después de la implementación. En la perspectiva técnica de los equipos, se tuvo como objetivo medir el cambio en el tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo medio para reparaciones (MTTR). La metodología de la investigación pertenece al tipo aplicado, de enfoque cuantitativo, de nivel descriptivo y de diseño experimental; en tanto que la población y muestra fue de 3 equipos en análisis. El instrumento para la recolección de datos fue la ficha de observación donde se detalló el tiempo de paradas y de funcionamiento.

Los resultados muestran cambios muy favorables en la disponibilidad que se incrementó de 82% a 92% luego de la implementación de la metodología; ello se basa en la reducción de las horas de mantenimiento (MTTR) de 9.8 a 6.38 horas y el aumento del tiempo operativo de los equipos (MTBF) que paso de 44.8 a 77.6 horas. En el análisis económico, se observa que la empresa obtiene un beneficio a modo de ahorro de S/ 43,966.86 soles. Por lo tanto, se concluye que la implementación de la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad incrementa la disponibilidad de los equipos y además es una propuesta viable y sostenida económicamente.

Para Salazar (2019) en su investigación llamada *Mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de equipos críticos del proceso de producción de hielo en la empresa Lesser S.A.C*, para alcanzar el título profesional en Ingeniería Industrial por la Universidad César Vallejo; tuvo el objetivo principal de implementar la metodología MCC para mejorar la disponibilidad de los equipos en la mencionada empresa. En la búsqueda de dicho objetivo fue necesario el diagnóstico de la situación inicial, la identificación de los puntos críticos a mejorar, efectuar una evaluación de los modos de fallas y efectos para diseñar un plan de mantenimiento que identifique indicadores para la gestión y finalmente, comparar los resultados a fin de mostrar el cambio. Se cuenta con una metodología de tipo aplicado, de enfoque cuantitativo, de nivel descriptivo – explicativo y de diseño experimental. La población y muestra corresponde a 7 equipos evaluados durante 6 meses (3 del escenario previo y 3 del posterior); las técnicas empleadas para la recolección de datos fue la observación directa, el acceso a bases de datos de la empresa a través de la revisión de informes.

La implementación muestra el uso de técnicas y herramientas para mejorar la confiabilidad de los equipos a través del análisis de modos de fallas y efectos; adicionalmente, se generan

diagramas y procesos de gestión a fin de efectuar una adecuada labor del mantenimiento. A partir de ello, la disponibilidad logra un cambio importante dado que se pasa de 77% en el escenario previo a 98% en el escenario posterior. De forma similar, el tiempo medio entre fallas (MTBF) pasa de 36 a 88 horas, en tanto que el tiempo medio para reparaciones (MTTR) se reduce de 7.1 a 3 horas. Por último, se concluye que la implementación de la metodología ha logrado los resultados deseados en el incremento de la disponibilidad operativa de los equipos y se recomienda actualizar el sistema de capacitaciones a fin de incrementar la productividad de la mano de obra.

En el trabajo desarrollado por Álvarez (2018) titulado *Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para mejorar la disponibilidad de los motores CATERPILLAR 3516 de los grupos electrógenos de una refinería de petróleo – Iquitos, Perú*, para optar por el título profesional de Ingeniero Mecánico por la Universidad Nacional del Callo; la cual tuvo como finalidad de diseñar un sistema de mantenimiento basado en la metodología MCC para lograr un incremento en la disponibilidad. Para determinar el cambio en la disponibilidad fue necesario evaluar los indicadores del tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio para las reparaciones (MTTR) en el escenario previo y posterior a la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad. La metodología de la investigación pertenece al tipo tecnológico, de enfoque cuantitativo, de nivel descriptivo y de diseño experimental; en tanto que la población y muestra fue de 2 motores. El instrumento para la recolección de datos fue la ficha de observación donde se detalló el tiempo de paradas y de funcionamiento.

Los resultados mostraron que la disponibilidad incrementó de 87.1 % a 96.6% para el equipo 332-K-1D y de 86.8 % a 96.5 % para el 322-K-1E; ello se debe a que el tiempo medio entre fallas (MTBF) logró una mejora importante de 626 a 1456 horas, en tanto que el tiempo medio entre reparaciones (MTTR) se redujo de 117 a 40 horas. Ante ello, se concluye que el empleo de la metodología incrementa la disponibilidad de los equipos y se recomienda efectuar un análisis más a fondo para determinar el tipo de falla de los equipos y plantear alternativas para reducir dichos inconvenientes.

De acuerdo con Valentín (2014) en su trabajo denominado *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para mejorar la disponibilidad mecánica de las excavadoras CAT 336DL en el proyecto Toromocho*, para alcanzar el título profesional de Ingeniero Mecánico por la

Universidad Nacional del Centro del Perú; la cual tuvo como objetivo principal de implementar la metodología MCC para mejorar la disponibilidad operativa de los equipos. Para el alcance de dicho objetivo fue necesario el análisis de la situación inicial en el mantenimiento para determinar los puntos críticos que deben mejorar dentro de dicho proceso; a partir de ello se diseña un sistema de manutención y se aplican las mejoras en búsqueda de cambios significativos. Se cuenta con una metodología de la investigación que pertenece al tipo tecnológico y aplicado, de enfoque cuantitativo, de nivel descriptivo y de diseño pre – experimental; en tanto que la población y muestra fue de 5 equipos. El instrumento para la recolección de datos fue la ficha de observación donde se detalló el tiempo de paradas y de funcionamiento.

En el análisis de los resultados se observa un cambio importante en el tiempo medio entre fallas (MTBF) que pasa de 29.9 a 58.7 horas. De forma similar, la disponibilidad de los equipos que en promedio paso de 81.1% a 90.8% y sometiendo ello al análisis inferencial se alcanzó una significancia de $0.000 < 0.05$; por lo cual, se acepta la hipótesis que la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad incrementa la disponibilidad de equipos. Finalmente, se recomienda programar capacitaciones al personal operativo de las labores del mantenimiento y evaluar de forma constante las fallas críticas y paradas no programadas.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Metodología MCC

De acuerdo con Campos, Tolentino, Toledo y Tolentino (2019) la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad emplea labores de mantenimiento a través del análisis de riesgos, la identificación y gestión de los fallos para mejorar la disponibilidad operacional de los equipos. A partir de ello, se plantean actividades de forma conjunta y articulada para cambiar el enfoque de mantenimiento hacia un horizonte preventivo, es decir, anticiparse a los inconvenientes que puedan suceder a fin de no detener el proceso productivo. Contar con un enfoque preventivo permite, en el mediano y largo plazo, reducir el número de fallos y la intensidad de estos, en tanto que ya se conoce el modo de operar de los equipos y se pueden plantear alternativas de solución en caso sucedan. En este sentido, se brindan lineamientos en base a la mejora continua para también lograr la eliminación de actividades que no generan valor y la reducción de los costos de reparación.

Según Casas y Barona (2019), un elemento de gran importancia para entender la metodología MCC es la confiabilidad y los aspectos relacionados a este concepto se muestran en la siguiente figura.

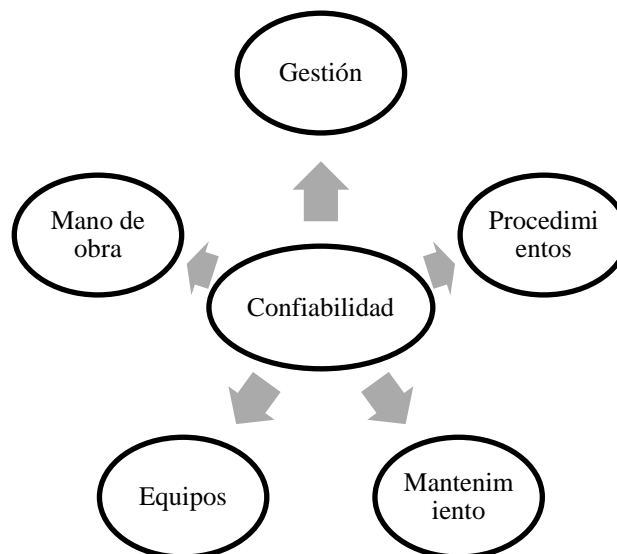


Figura 2 Análisis de la confiabilidad

Fuente: Casas y Barona (2019)

La confiabilidad es un eje fundamental en el funcionamiento de los equipos, dado que permite determinar el nivel de desempeño para las labores contando con un análisis de criticidad sobre cada uno de sus componentes. En la figura anterior se observa que para el estudio de la confiabilidad se requiere de un análisis de la gestión en el proceso de funcionamiento de los equipos, en tanto que ello permite determinar si se encuentra en un nivel óptimo y adecuado; por otro lado, se deben revisar los procedimientos de trabajo a fin de lograr una sistematización articulada entre los conceptos mencionados. Otros elementos relevantes para dicho estudio son el modo de ejecución de las labores de mantenimiento, el estado físico de los equipos y el nivel de tecnificación y capacitación de la mano de obra que permite tener una noción mucho más certera de las condiciones de confiabilidad.

En Campos, Tolentino, Toledo y Tolentino (2018) se menciona que existen pasos previos a tomar en cuenta para la aplicación de la metodología MCC, en tanto que se requiere de información necesario para el conocimiento de la cuestión y un plan de gestión para el correcto análisis e identificación. Dichos lineamientos se muestran a través de la tabla a continuación.

Tabla 2

Elementos previos para la aplicación de la metodología MCC

Paso	Descripción
Recolección de información	Contar con datos útiles para conocer la problemática y el funcionamiento de cada equipo
Descripción a detalle	Explicar el funcionamiento del sistema que mantiene operativo el equipo
Creación de diagramas	Representación gráfica de los pasos a seguir como parte de un plan articulado para el mantenimiento
Diseño del plan	Secuencia de pasos a seguir para lograr una adecuada labor
Análisis de fallos	Conocer las causas y consecuencias de los fallos
Prioridad de fallos	Priorizar los efectos de los fallos para determinar el aspecto más crítico

Fuente: Campos, Tolentino, Toledo y Tolentino (2018)

Si bien es cierto que no existe una guía formal como elementos previos a la implementación del MCC, se recomienda tener en cuenta los lineamientos de la tabla anterior a fin de facilitar las labores propias de la metodología; adicionalmente, esta no es una secuencia ordenada de pasos, sino que se da a modo de recomendación. En relación con ello, se comenta que un elemento que colabora en gran manera es la recolección de información que se refiere a contar con datos útiles para conocer la problemática y el funcionamiento de cada equipo; en segundo lugar, se debe tener en cuenta la descripción a detalle como una explicación del funcionamiento del sistema que mantiene operativo el equipo. De forma complementaria se indica que la creación de diagramas colabora con la comprensión del funcionamiento, en tanto que es una representación gráfica de los pasos a seguir como parte de un plan articulado para el mantenimiento y el diseño del plan que es la secuencia de pasos a seguir para lograr una adecuada labor. Respecto al tema de los fallos, se recomienda un análisis para conocer las causas y consecuencias de los fallos; a partir de ello se puede establecer una prioridad de los efectos de los fallos para determinar el aspecto más crítico.

Para Gonzales (2015) la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad puede traer grandes beneficios y ventajas por su implementación, pero también se debe señalar que existen algunas debilidades, dicho análisis se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3

Ventajas y debilidades de la metodología MCC

Ventajas	Debilidades
Atención en la seguridad y el cuidado de las maquinarias	Es necesario contar con amplio conocimiento sobre el equipo
El método brinda todas las garantías del caso para cumplir con auditorias	Se requiere de una supervisión constante para el éxito
Amplia recolección de evidencias	Requiere predisposición al cambio y capacidad de adaptación
Herramienta orientada en la mejora continua	Proceso lento que requiere tiempo para observar las mejoras
Mejora la fiabilidad de los equipos	Conocimiento de nuevas tecnologías
Se orienta al cambio secuencia por las condiciones del equipo	Trabajo en equipo

Fuente: González (2015)

En la tabla se menciona que entre las principales ventajas de la aplicación de la metodología MCC son la especial atención en la seguridad y el cuidado de las maquinarias, en tanto que se desea extender su disponibilidad y vida útil; por otro lado el método brinda todas las garantías del caso para cumplir con auditorías, en caso la empresa requiera de alguna certificación o supervisión externa; luego la metodología amplía recolección de evidencias dado que se detalla de la forma más precisa y minuciosa la información sobre los fallos, causas y consecuencias. Adicionalmente, se desarrollan herramientas orientadas en la mejora continua del sistema de operación, se mejora la fiabilidad de los equipos y se orienta al cambio de secuencia por las condiciones del equipo.

Respecto a las desventajas o inconvenientes de aplicar la metodología se comenta que es necesario contar con amplio conocimiento sobre el equipo, se requiere de una supervisión constante para el éxito, se requiere predisposición al cambio y capacidad de adaptación, es un proceso lento que requiere tiempo para observar las mejoras, se necesita conocimiento de nuevas tecnologías y es fundamental el trabajo en equipo.

Para Braglia, Castellano y Gallo (2019) los objetivos que persigue la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC) son múltiples, puesto que al lograr una mejora en la disponibilidad se podrá impactar sobre otros aspectos como los costos, la productividad, la eficiencia del trabajo, la frecuencia de la producción, entre otros que se mencionan más a detalle, tales como.

- Organizar el proceso de mantenimiento de acuerdo con las prioridades del sistema operativo o productivo
- Disminuir el costo de reparación debido a la menor compra de repuestos
- Evaluar las fallas funcionales
- Implementar técnicas novedosas para alargar la vida útil del equipo
- Conocer los efectos de las averías y prevenir su aparición
- Identificar el origen de los fallos a fin de plantear acciones preventivas durante el proceso de mantenimiento
- Establecer lineamientos generales para el proceso de mantenimiento

En Sana et al. (2018) se muestran las fases para la aplicación de la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad, lo cual se grafica en la siguiente figura.

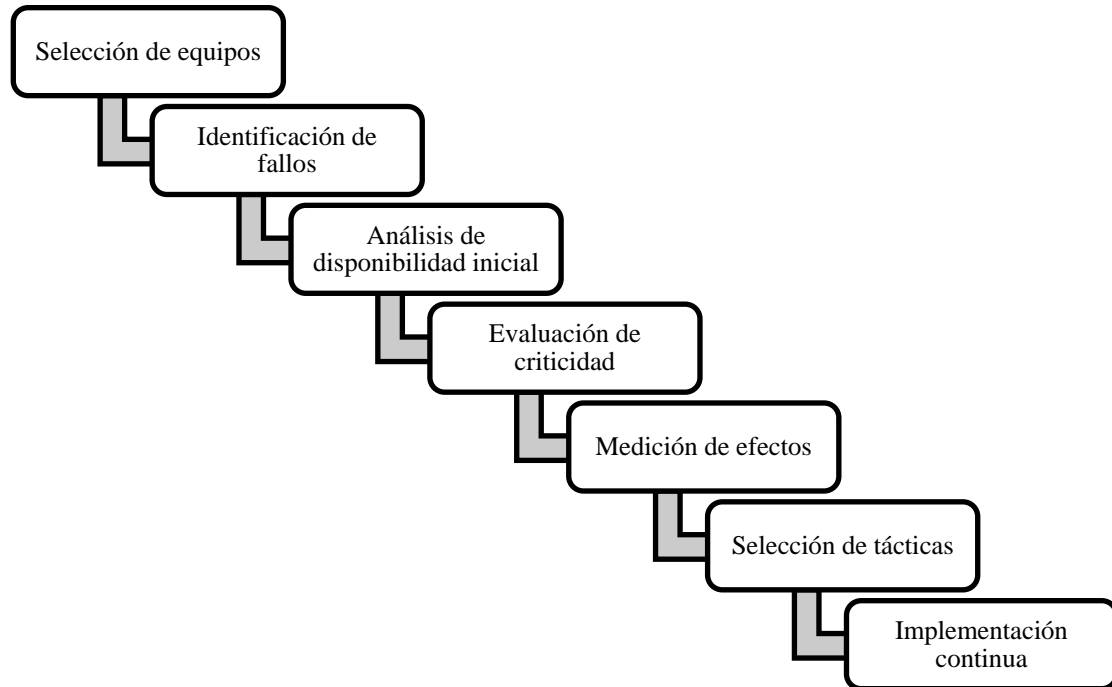


Figura 3 Fases de la aplicación MCC

Fuente: Sana et al. (2018)

En la figura anterior se observan las fases de la aplicación de la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad, en tanto que el primer paso corresponde a la selección de equipos, es decir, se debe contar con equipo de profesionales que efectuaran las labores de mantenimiento de equipos. La segunda fase corresponde a la identificación de fallos que es la parte en la que se indican cuáles son las fallas más frecuentes dentro de las operaciones del equipo, lo cual permite desarrollar el análisis de disponibilidad inicial donde. Luego de ello, se procede con la evaluación de criticidad donde se indica la frecuencia y gravedad de los inconvenientes que puede sufrir el equipo; a partir de este punto es posible la medición de efectos. Como parte del proceso de mejora se pasa a la selección de tácticas, estrategias y acciones a ejecutar dentro del sistema de mantenimiento a fin de lograr un cambio positivo y significativo en los equipos y finalmente, la implementación continua señala que el ciclo se puede repetir para reducir los fallos e incrementar la disponibilidad a lo largo del tiempo de operaciones.

De acuerdo con Parra y Crespo (2012) la metodología MCC facilita las labores de operación en el mantenimiento de equipos, lo cual es posible a través del empleo de hojas de decisión donde se registra la información más relevante sobre los fallos y sus consecuencias en el sistema operativo; un ejemplo de dicho formato se presenta a continuación.

Tabla 4

Hoja de decisión de la metodología MCC

Hoja de decisiones MCC										Área:				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)	A realizarse por	
							S1	S2	S3							
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4				
							N1	N2	N3							

Fuente: Parra y Crespo (2012)

En la figura se muestra la hoja de decisión de la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad donde se registra información importante para la toma de decisiones en el mantenimiento de equipos. En primer lugar, se comenta sobre la referencia de la información sobre los fallos, donde se indica la cantidad de fallos y los que han sido producto de una falla funcional (FF) o mecánica (FM). Otro aspecto importante es la evaluación en donde se contabilizan las consecuencias por fallas ocultas (H), problemas con la seguridad (S), medio ambiente (E) y temas operaciones (O). De forma similar al lado de dichas columnas donde se observan letras y números, aquí se menciona la cantidad de trabajos de mejora en cada uno de los aspectos mencionados anteriormente y luego se comenta sobre el motivo por el cual fue efectuado el mantenimiento, empleando la misma nomenclatura. Luego de ello se menciona la tarea propuesta para lograr cambios significativos y el intervalo de frecuencia de los trabajos desarrollados, así como el responsable.

Una herramienta central para el éxito de la implementación de la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad es el análisis modal de fallas y efectos (AMEF o FMEA) y en Stamatis (2018) se mencionan las fases que se deben seguir para su desarrollo, lo cual se muestra a través de la siguiente tabla:

Tabla 5

Análisis FMEA

Fase	Descripción
Equipos de trabajo	Se forman los grupos con líderes y expertos en el conocimiento del proceso
Determinar objetivos y límites	Se debe establecer los lineamientos de trabajo e identificar hacia donde deben dirigirse
Indicar funciones	Cada parte del equipo de trabajo debe tener tareas asignadas y claramente identificadas
Modos potenciales de fallos	Conocer el funcionamiento de los equipos e identificar los posibles fallos que puedan ocurrir según el proceso operativo
Efectos potenciales de fallos	Determinar las consecuencias que pueden ocasionar los fallos
Fallas potenciales	Establecer relaciones de causa efecto en la disponibilidad de los equipos
Sistemas de control	Diseño de mecanismos para prevenir fallas que detengan el equipo
Índices de evaluación	Determinar el modo de conocer la gravedad, frecuencia y detección de fallos
Cálculo de modos potenciales	Utilizar ecuaciones para determinar los valores del paso anterior
Proponer acciones de mejora	En base al análisis se plantear alternativas de solución a los inconvenientes
Revisión constante del FMEA	Se basa en el enfoque de mejora continua

Fuente: Stamatis (2018)

En la tabla se indica la secuencia de pasos adecuada para la implementación del análisis modal de fallas y efectos como parte del mantenimiento de las máquinas. En primer lugar, se requiere definir los equipos de trabajo, es decir, se forman los grupos con líderes y expertos en el conocimiento del proceso para que ellos puedan guiar y supervisar las acciones

de mejora. En segundo lugar, es necesario determinar objetivos y límites, en tanto que se debe establecer los lineamientos de trabajo e identificar hacia donde deben dirigirse; asimismo, se requiere de indicar funciones, cada parte del equipo de trabajo debe tener tareas asignadas y claramente identificadas. A partir de ello, se puede efectuar el análisis de modos potenciales de fallos para conocer el funcionamiento de los equipos e identificar los posibles fallos que puedan ocurrir según el proceso operativo. Luego se sigue con el conocimiento de los efectos potenciales de fallos que consiste en determinar las consecuencias que pueden ocasionar y se determinan las fallas potenciales, dado que se establecen las relaciones de causa efecto en la disponibilidad de los equipos.

En las acciones de mejora se plantean sistemas de control como el diseño de mecanismos para prevenir fallas que detengan el equipo, así como los índices de evaluación que permiten analizar el modo de conocer la gravedad, frecuencia y detección de fallos. Otro punto importante es el cálculo de modos potenciales con el empleo de ecuaciones para determinar los valores del paso anterior. Finalmente, se proponen acciones de mejora en base al análisis se plantean alternativas de solución a los inconvenientes y se efectúa la revisión constante en base al enfoque de mejora continua.

Dimensión 1: Tareas de mantenimiento

De acuerdo con Parra y Crespo (2012) las tareas de mantenimiento permiten mejorar las condiciones del equipo y extender su vida útil como parte de un programa para elevar la disponibilidad operativa. A partir de dichas actividades se planifican estrategias para modificar con el mantenimiento las condiciones internas y externas de los equipos. Si bien es cierto que en la etapa de planificación se logra señalar la cantidad y programación necesarias de mantenimiento para el óptimo funcionamiento de los equipos, no siempre se llega a cumplir dicho programa, por lo que es necesario tener una tasa del cumplimiento de las tareas de mantenimiento, para lo cual se muestra la siguiente fórmula.

Ecuación 1 Cálculo del cumplimiento de tareas de mantenimiento

$$TM = \frac{\textit{Tareas cumplidas}}{\textit{Total de tareas de mantenimiento}}$$

Dimensión 2: Confiabilidad del proceso

Según Parra y Crespo (2012) la confiabilidad del proceso permite que las empresas actúen bajo acciones más seguras, en tanto que se desea el menor tiempo de paros o detenciones por fallas y averías del equipo. El análisis de la confiabilidad incluye muchas ramas dentro del sistema operativo, pero si se refiere al proceso que siguen los equipos, la mantenibilidad y la disponibilidad juegan un papel importante, dado que a través del análisis de las fallas y consecuencias de averías se puede estimar el nivel de confiabilidad de cada equipo. En este sentido, la confiabilidad se expresa a través de la razón entre las inspecciones efectuadas con el empleo de la hoja de decisión MCC dentro de las labores de mantenimiento sobre el total de inspecciones, tal como se muestra en la siguiente expresión matemática.

Ecuación 2 Cálculo de la confiabilidad del proceso

$$CP = \frac{\textit{Inspecciones realizadas en hoja de decisión MMC}}{\textit{Inspecciones planificadas totales}}$$

Dimensión 3: Análisis modal de fallas y efectos

Para Diestra, Esquivel y Guevara (2017) el análisis modal de fallas y efectos es la técnica que permite la gestión de riesgos que permite identificar los factores más críticos a ser solucionados dentro del proceso de mantenimiento de modo que se disminuyan los riesgos de presencia de averías. Para ello se efectúa una evaluación de la severidad, ocurrencia y dificultad de detección de los riesgos mediante el indicado de NPR, tal como muestra la siguiente ecuación.

Ecuación 3 Cálculo del prioridad de riesgo FMEA

$$NPR = \textit{Severidad} \times \textit{Ocurrencia} \times \textit{Detección}$$

2.2.2. Disponibilidad de equipos.

De acuerdo con García (2016), la disponibilidad es la capacidad de que un equipo funcione en óptimas condiciones y de manera ininterrumpida sin afectar el proceso productivo que se desarrolla. Asimismo, es una magnitud estadística – matemática que menciona a través de un indicador numérico el grado de fiabilidad de un equipo; en otras palabras, refiere las condiciones de operatividad para mantener su funcionalidad dentro de un determinado proceso. Para entender estos conceptos, se requiere de conocer la distribución del tiempo total de un equipo y para ello se muestra la siguiente figura.

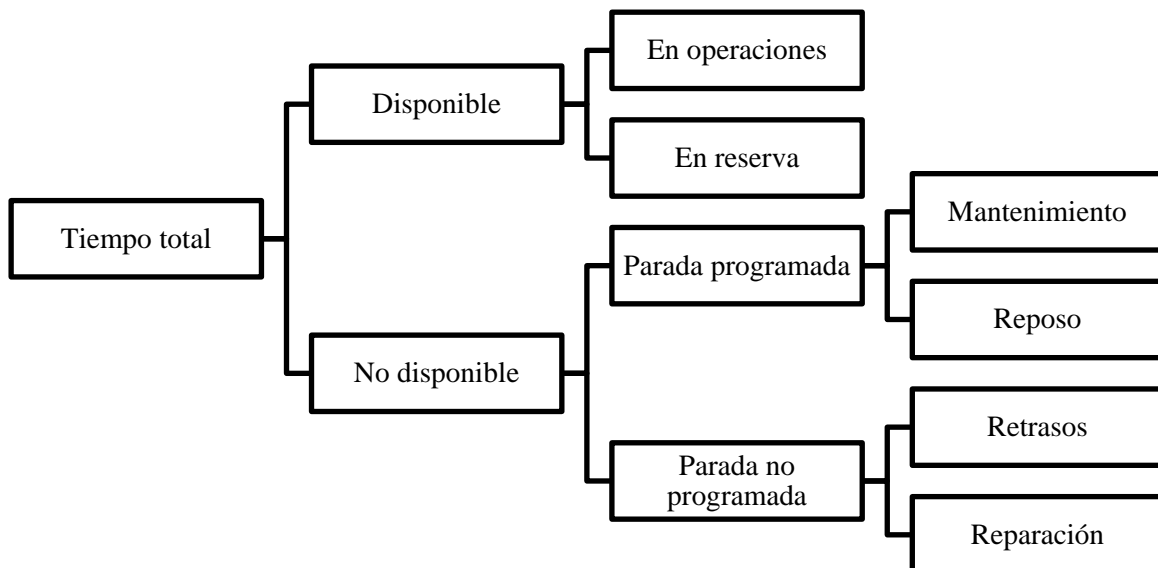


Figura 4 Distribución del tiempo de los equipos

Fuente: García (2016)

Como se observa en la figura anterior, el tiempo total de una máquina se divide cuando se encuentra disponible y no disponible. El primer caso, la disponibilidad, hace mención del momento en el cual la máquina se encuentra en operaciones dentro del proceso productivo y también cuando está en reserva, pero lista para ser usada. Por otro lado, el tiempo no disponible refiere a los espacios cuando se dan las paradas programadas y no programadas, en el caso del primer concepto, este refiere a las labores de mantenimiento y el reposo necesario dentro de la producción y las paradas no programadas se dan en los espacios de retrasos o reparaciones por averías.

En Caballero y Clavero (2016) se menciona que existen algunas situaciones claves que pueden afectar la disponibilidad de los equipos; en otras palabras, se han identificado problemáticas que inciden en el correcto funcionamiento y pueden originar fallas y averías; entre ellas se comentan las siguientes:

- Problemas en la red de alimentación de energía eléctrica o conexiones del sistema
- No cumplir con los requisitos para el funcionamiento señalados en el manual o en los protocolos de operación.
- Fallas en la aplicación interna
- Presencia de externalidades como el medio ambiente, condiciones climáticas, entre otros.
- Entorno físico que vulnera la seguridad y estabilidad del equipo (golpes)
- Deficiente operación por parte de los trabajadores
- Fallas en la rutina de operación por un mal manejo.

En la misma línea, según Cárcel (2014), existen factores que determinan el nivel de disponibilidad de los equipos dentro del proceso productivo y ellos se muestran de forma didáctica en la siguiente figura.

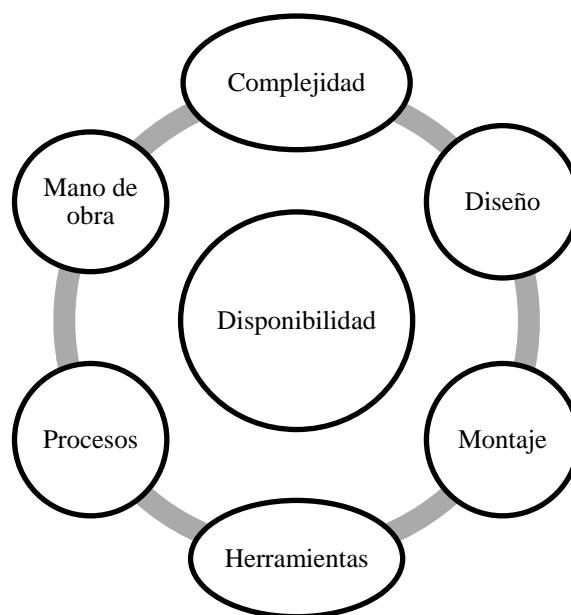


Figura 5 Factores para la disponibilidad de equipos

Fuente: Cárcel (2014)

Los factores más relevantes para el análisis de la disponibilidad mencionados en la figura anterior refieren a la complejidad del equipo y de su funcionamiento, dado que de ello depende la forma en cómo opera y permite comprender el mecanismo y distribución de los tiempos necesarios. Otro elemento importante es el diseño, puesto que a partir de ello se consideran los cuidados necesarios para su mantenimiento de forma óptima en el ambiente de trabajo o entorno que lo rodea. Asimismo, el proceso de montaje es un factor clave puesto que menciona las condiciones en las que debe terminan instalado para el correcto funcionamiento en base a las instrucciones. De forma complementaria, la presencia herramientas para el mantenimiento, la intensidad de los procesos de producción y la mano de obra determinan los modos de trabajo y la disponibilidad del equipo durante el tiempo. Por otro lado, también se mencionan algunos aspectos que permiten el incremento de la disponibilidad de los equipos, los cuales se han clasificado de acuerdo con el área que involucran y se presentan en la tabla a continuación.

Tabla 6

Incremento de la disponibilidad

Área	Característica
Mano de obra	Capacidad técnica y operativa del personal
	Proponer acciones de mejora
Método	Elección de un adecuado sistema de operación
	Empleo de tecnología
Mantenimiento	Integración de actividades para automatización
	Cumplimiento de estrategia desarrollada
	Uso de tecnología para actividades de diagnóstico

Fuente: Cárcel (2014)

En la tabla se comentan las características que debe cumplir cierta área para lograr una mejora de la disponibilidad de los equipos. Para la mano de obra se menciona la necesidad de contar con capacidad técnica y operativa del personal, además que ellos deben proponer de forma constante acciones de mejora. Por otro lado, en el método de trabajo se recomienda el empleo de tecnología de punta para lograr cambios significativos en el mantenimiento y la requiere de la integración de actividades para un proceso estandarizado que logre la automatización como parte de una política de productividad. Finalmente, en lo que respecta

al sector de mantenimiento, se deben cumplir con las estrategias desarrolladas y emplear herramientas para las actividades de diagnóstico.

Según García (2016) establecer un indicador numérico para este factor es un elemento clave que permite medir el desempeño de los equipos en el tiempo, en tanto que permite hacer ajustes y mejoras en el funcionamiento o procedimientos para mejorar la situación inicial en caso esta sea desalentadora. Para su cálculo se requiere de conocer 2 conceptos claves (el tiempo medio entre fallas y para reparaciones) y su combinación se presenta la siguiente expresión matemática.

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

Dónde:

MTBF: Tiempo medio entre fallas

MTTR: Tiempo medio para reparaciones

Dimensión 1: Tiempo medio entre fallas (MTBF)

En palabras de Piechnicki, Loures y Santos (2017) la fiabilidad de los equipos hace mención del tiempo en el cual estos se encuentran dentro del proceso productivo con una funcionalidad óptima que no requiere de pausas, en tanto que se requiere del menor número de paros para mejorar la productividad del proceso. A partir de ello, se plantea el indicador del tiempo medio entre fallas que refiere el número de horas o minutos que el equipo ha operado sin la presencia de algún inconveniente que lo detenga. Para su cálculo se muestra la siguiente ecuación.

Ecuación 4 Cálculo del tiempo medio entre fallas

$$MTBF = \frac{\sum \text{horas total de operaciones}}{N^{\circ} \text{ fallos}}$$

De forma complementaria, para Moreira et al (2018) la fiabilidad de los equipos es un factor importante que permite el éxito dentro de un mercado competitivo, señala que ciertas

empresas pueden tener un elemento diferenciador respecto al resto como parte de una política de competitividad en el mundo globalizado. Para muchas empresas es importante que el número de fallos o averías se reduzca de forma considerable y además el tiempo que duren las operaciones de forma ininterrumpida sea el mayor posible.

Dimensión 2: Tiempo medio para reparaciones (MTTR)

En Caballero y Clavero (2016) se menciona el tiempo medio para reparaciones o mantenibilidad de los equipos hace referencia al promedio de las horas o minutos que son necesarios para dar un mantenimiento correctivo para la solución de una falla o avería que logro detener el proceso operativo, en tanto que se debe tener en cuenta en número de detenciones ocurridas para su cálculo. En este sentido, el indicador refleja el tiempo en el cual la máquina no se encuentra participando de forma activa en la producción y ello afecta la productividad y la eficiencia que se desea alcanzar. Para su cálculo se presenta la siguiente ecuación.

Ecuación 5 Cálculo del tiempo medio para reparaciones

$$MTTR = \frac{\sum \text{horas total de mantenimiento correctivo}}{N^{\circ} \text{ fallos}}$$

2.3. Definición de términos básicos

Acción preventiva: Hace referencia al conjunto de acciones orientadas dentro del mantenimiento para evitar que las fallas sucedan de forma frecuente y mitigar los efectos que estas puedan causar en los equipos. (Galeano y Pérez, 2017, p.9)

Acción de mejora: Son aquellos cambios positivos orientados en el alcance de la calidad total de las operaciones lo que se refleja en altos índices de eficiencia y eficacia. (Proaño y Gisbert, 2017, p.52)

Ambiente de trabajo: Es aquel espacio y condiciones físicas en donde se efectúan las labores operativas (Sánchez, 2015, p.511)

Automatizar: Son aquellas técnicas que permiten estandarizar el trabajo de los operarios para incrementar la productividad gracias a la ejecución más rápida de las labores (Sánchez, 2015, p.511)

Avería: Falla o inconveniente en los equipos que logra detenerlos y los indisponen para el proceso productivo, es decir, muestran incapacidad para continuar con sus labores (Zegarra, 2016, p.32)

Confiabilidad: Menciona la probabilidad de que no sucedan fallas en los equipos y se pueda continuar con su óptimo funcionamiento en un determinado periodo productivo (Zegarra, 2016, p.33)

Daño: Cambio negativo en el equipo a causa de un elemento directo o indirecto, ya sea el deterioro por el paso del tiempo, la consecución de sus actividades u otro que pueda afectar su disponibilidad (Sánchez, 2015, p.512)

Desperdicio: Son aquellos elementos que en exceso generan retrasos o inconvenientes en el sistema de producción, además de reducir la productividad; su presencia requiere de soluciones que pueden generar costos no previstos. (Socconini, 2019, p.23)

Disponibilidad: Capacidad de los equipos para mantenerse en operaciones de forma adecuada durante el proceso que se desarrolle, sin la presencia de averías que afecten los parámetros de operación previamente establecidos (García, 2016, p.152)

Eficiencia: Virtud o facultad que permite el logro de metas previamente establecidas como parte de un plan de trabajo u operaciones mediante el uso adecuado de los recursos productivos (Sánchez, 2015, p.512)

Escala: Menciona la relación de dimensiones respecto a un parámetro de comparación real (Iglesias, 2015, p.307)

Esquema: Es la representación gráfica de forma simple y fácilmente comprensible que explica los procesos a desarrollar dentro de una actividad para facilitar las labores de operación. (Iglesias, 2015, p.307)

FMEA: Técnica para la gestión de riesgos que permite identificar los factores más críticos a ser solucionados dentro del proceso de mantenimiento de modo que se disminuyan los riesgos de presencia de averías. (Consuegra, 2015, p.39)

Herramientas: Son aquellos elementos que junto con el accionar del hombre permiten solucionar problemas de la realidad (Iglesias, 2015, p.307)

Máquina: Refiere al conjunto de mecanismos o sistemas que en funcionamiento conjunto permite desarrollar labores de producción a través de la transformación de alguna fuerza externa (Sánchez, 2015, p.512)

Mantenimiento: Conjunto de labores y operaciones que permite mejorar las condiciones internas y externas de los equipos para un adecuado funcionamiento en el procesos productivo (Jiménez, 2018, p.74)

Mantenimiento preventivo: Es aquel proceso destino a extender la vida útil de las máquinas mediante el aseguramiento de la funcionalidad adecuada de cada una de sus partes. (Medialdea y Corrales, 2017, p.240)

Manual: Texto o informe que contiene las características del equipo y las instrucciones para su adecuado uso (Janoudi, 2015, p.387)

MTBF: Indicador que menciona el tiempo medio entre fallas que presenta un equipo dentro del proceso productivo (Caballero y Clavero, 2016, p.163)

MTTR: Es aquel tiempo que se tarda para la reparación de una máquina producto de una avería o falla. (Caballero y Clavero, 2016, p.163)

Productividad: Hace referencia a los alcances de resultados tangibles a través de la mejora en el sistema de producción con el menor empleo de recursos como parte de un escenario de competitividad (Socconini, 2019, p.27)

Protocolo: Es aquel conjunto de normas y reglas que guían un proceso para lograr un funcionamiento adecuado y eficiente. (Medialdea y Corrales, 2017, p.240)

Reparación: Actividad que permite solucionar los problemas presentados por una falla que detuvo el funcionamiento de un equipo, ello es posible mediante el cambio de piezas y la mejora de estas. (Sánchez, 2015, p.513)

Riesgo: Es la probabilidad de que una falla ocurra mientras el equipo se encuentra en labores operativas y se detenga el proceso de producción. (Sánchez, 2015, p.513)

CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

3.1. Descripción de la experiencia profesional

Experiencia académica

Mi experiencia académica tiene como inicio en el instituto de Servicio Nacional de Adiestramiento en Trabajo Industrial – SENATI donde curso la carrera de electricidad industrial durante los años 2001 y 2003, en el último semestre de la carrera ingreso como practicante técnico electricista en el área de mantenimiento del centro comercial Jockey Plaza ubicado en Santiago de Surco. Del 2011 al 2015 estudio la carrera de ingeniería industrial en la Universidad Privada del Norte. Así mismo he llevado curso de Gerencia de Operaciones en ESAN en el 2020.

Experiencia de campo

Después del proceso de formación académica, ingreso al centro comercial Jockey Plaza como técnico electricista en el área de mantenimiento desde el año 2003 hasta el año 2010, donde realizo actividades como: mantenimiento preventivo de sub estaciones eléctricas, tableros eléctricos, realización de cableados eléctricos, correctivos en equipos de iluminación en general y supervisión de operatividad de equipos críticos como: Transformadores de media tensión, grupos electrógenos, aire acondicionado, escaleras electromecánicas, ascensores y montacargas.

En noviembre 2010, ingreso como asistente de mantenimiento al Grupo Falabella Perú donde me destacan a la tienda Saga Falabella del Jockey Plaza y realizo actividades de supervisión de operatividad de transformadores de media tensión, grupos electrógenos, aire acondicionado, escaleras electromecánicas, ascensores, montacargas, UPS, y mantenimiento correctivo en general de la infraestructura de la tienda.

En agosto 2014, me destacan como jefe de mantenimiento en la tienda Saga Falabella del Centro de Lima, teniendo como función principal ser el responsable del área de mantenimiento, teniendo como actividades: el control del presupuesto del mantenimiento preventivo y correctivo de todos los equipos críticos como: sub estaciones eléctricas, grupos electrógenos, bomba contra incendio, aire acondicionados, escaleras eléctricas, ascensores, montacargas, UPS e infraestructura en general; así mismo, supervisión de los trabajos de ejecutados por proveedores, control de consumo de energía y agua.

En junio 2016, ingreso a la empresa Urbanova Inmobiliaria SAC teniendo como función principal ser encargado del área de mantenimiento del centro comercial La Rambla San Borja, teniendo como actividades el control de consumo de energía y agua, cálculo de consumo de servicios (energía y agua) y conversión a soles para la facturación de todos los locatarios, control del presupuesto del mantenimiento preventivo y correctivo de todos los equipos críticos como: sub estaciones eléctricas, grupos electrógenos, bomba contra incendio, aire acondicionados, escaleras eléctricas, ascensores, montacargas e infraestructura en general, generación de solicitud de pedidos en el sistema SAP PM para la ejecución de actividades del plan de mantenimiento anual, coordinación y supervisión de trabajos ejecutados por proveedores del mall y locatarios.

Desde agosto 2018 a la actualidad, estoy laborando en Mall Aventura S.A destacado en el centro comercial Mall Aventura Santa Anita, teniendo como función principal ser responsable del área de mantenimiento, seguridad, limpieza y control parking. Realizando las siguientes actividades: Elaboración y hacer seguimiento al cumplimiento del presupuesto anual de operaciones, gestión y control de energía y agua, cálculo de consumo de agua y energía para la facturación a locatarios, velar por la seguridad e integridad de los clientes internos y externos, hacer cumplir los procedimientos y protocolos de SSOMA para la realización y ejecución de cada actividad, gestión para el cumplimiento del mantenimiento preventivo y correctivo, gestionar con proveedores los trabajos de infraestructura y equipamiento, coordinación con los locatarios para la autorización de trabajos de terceros, administrar y supervisar el servicio de las empresas tercerizadas.

Cursos y Capacitaciones

SENATI (2001) Auxiliar de computación.

CEPS UNI (2011) Especialista en AutoCAD.

CETRUM PUCP (2019) Negociación Avanzada y Manejo de Conflictos.

ESAN (2020) Gerencia de Operaciones.

GOOGLE ACTIVATE (2020) Fundamentos de marketing digital.

LINKEDIN LEARNING (2021) Excel: Análisis, gestión y validación de datos (Office 365/Microsoft 365)

LINKEDIN LEARNING (2021) Fundamentos del networking profesional

3.2. Desarrollo del proyecto

3.2.1. *Objetivos del proyecto*

Implementar la metodología MCC para incrementar la disponibilidad operativa de escaleras eléctricas en un centro comercial, Lima Metropolitana, 2020.

Evaluar cuáles son las fallas funcionales que influirán en la disponibilidad operativa de escaleras eléctricas en un centro comercial, Lima Metropolitana, 2020.

Aplicar la metodología MCC con efectividad en las actividades de mantenimiento del centro comercial, Lima Metropolitana, 2020

Evaluar de qué manera la metodología MCC incrementará la disponibilidad operativa de escaleras eléctricas en un centro comercial, Lima Metropolitana, 2020.

3.2.2. *Estrategia del proyecto*

El proyecto se desarrolló teniendo como único objetivo de implementar la metodología MCC para incrementar la disponibilidad operativa de escaleras eléctricas en un centro comercial, Lima Metropolitana, 2020

3.2.3. *Herramientas utilizadas*

Se usaron herramientas estadísticas y de gestión utilizadas para la identificación de la causa raíz y para la identificación de los aspectos que se deben cubrir para lograr el objetivo general de investigación.

3.2.3.1. Encuesta

Se efectuó una muestra de una población total de 6 trabajadores expertos en la materia de estudio y de mayor antigüedad pertenecientes a la empresa.

3.2.3.2. Diagrama de Ishikawa

Se desarrolló el diagrama de Causas-Efecto para identificar las causas asignables o específicas que originan el problema general.

3.3. Etapas de implementación del proyecto

Para el alcance de los objetivos mencionados, se hará empleo de una estrategia de desarrollo enfocada en los principios de la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad, en tanto que se desea incrementar la disponibilidad de los equipos a lo largo del tiempo en estudio. A partir de dichos lineamientos, se podrá establecer un plan de trabajo efectivo en el mantenimiento de las escales eléctricas; en este sentido la metodología MCC plantea la programación de tareas de mantenimiento, mejorar la confiabilidad del proceso y evaluar las condiciones a través del FMEA; lo cual se explica a detalle en la siguiente tabla.

Tabla 7

Estrategias de desarrollo

Fase	Diagnóstico de situación inicial	Implementar mejora	Evaluar desempeño	Determinar beneficio económico
Identificación de situación inicial	Reuniones y análisis para determinar las deficiencias y problemas en la organización	Plan de acción e identificar participantes en el proceso	Plantear indicadores que expresen las necesidades de la disponibilidad y el correcto funcionamiento de los equipos	Identificar la inversión efectuada para los cambios
Tarea de mantenimiento		Rediseño de operaciones y cambios por la aplicación de la metodología	Organizar las fichas para pasar a expresar resultados	Calcular costos y beneficios de la implementación
Confiabilidad del proceso	Observación de equipos y plantear tareas para resolver el problema	Capacitaciones, diseño de diagramas y formatos para mejorar la situación inicial a través del MCC	Organizar las fichas para pasar a expresar resultados	Calcular costos y beneficios de la implementación
FMEA	Análisis de Pareto sobre ocurrencia, gravedad y detección	Medir los cambios según los indicadores presentados	Organizar las fichas para pasar a expresar resultados	Calcular costos y beneficios de la implementación

Análisis de resultados	Presentación de resultados del diagnóstico para vincularlos con el plan de mejora	Acciones correctivas, plan de auditorías, así como actividades de control y seguimiento	Discusión de resultados con la gerencia a modo conocer si se logró el impacto deseado	Evaluación financiera para determinar si la propuesta es rentable
-------------------------------	---	---	---	---

Fuente: Elaboración propia

3.3. Diagnóstico de la situación inicial

Metodología MCC

Tabla 8

Tareas de mantenimiento inicial

Mes	Tareas de mantenimiento			Confiabilidad del proceso			Nivel de prioridad de riesgo			
	Tareas cumplidas	Total tareas	TM	Inspecciones MCC	Inspecciones planificadas	CP	Severidad	Ocurrencia	Detección	NPR
Mes 1	12	20	60%	41	60	68%	7	5	8	268.8
Mes 2	13	20	65%	39	60	65%	8	5	7	270.7
Mes 3	12	20	60%	38	60	63%	8	5	8	320.0
Mes 4	13	20	65%	42	60	70%	8	6	9	408.0
Mes 5	10	20	50%	39	60	65%	9	5	8	393.6
Mes 6	12	20	60%	37	60	62%	9	6	9	477.9

Fuente: Elaboración propia

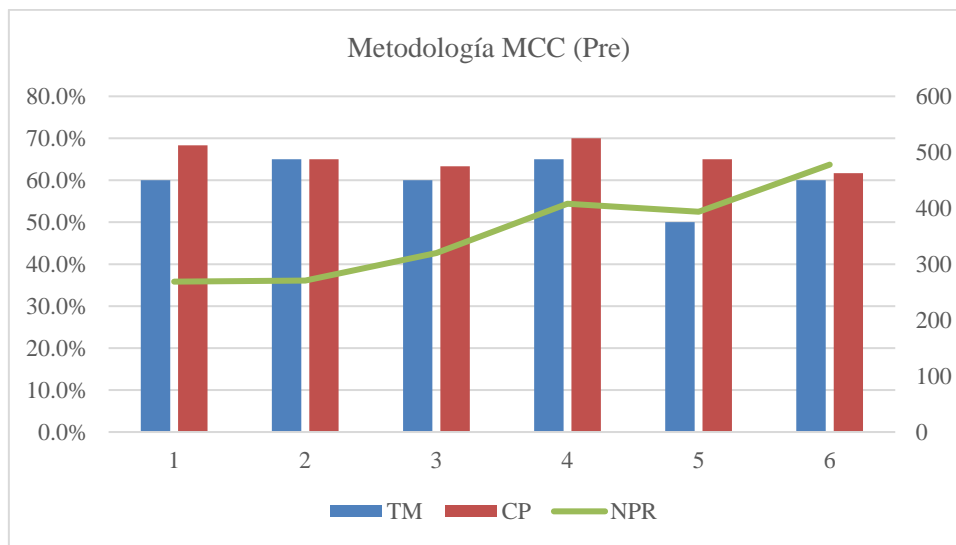


Figura 6 Tiempo medio entre fallas (MTBF) inicial

Fuente: Elaboración propia

En la figura mostrada se resumen los datos obtenidos en la tabla anterior, donde se calculan los indicadores para las tareas de mantenimiento, la confiabilidad del proceso y el nivel de prioridad de riesgo. Durante los 6 meses analizados, se observa que tanto las tareas de mantenimiento como la confiabilidad del proceso se mantuvieron estables, dado que conservaron un valor entre 50% y 70%; mientras que el nivel de prioridad de riesgo fue en aumento, pasando de 268.8 a 477.9.

Disponibilidad

Se realiza el análisis a la disponibilidad mostrando los indicadores iniciales que lo componen, tanto como el tiempo medio ente fallas, tiempo medio para reparaciones a fin de conocer el nivel de desempeño de los equipos.

Tabla 9

Tiempo medio entre fallas (MTBF) inicial

Escenario	Mes	MTBF		
		Horas de operación	N° Fallas	MTBF (Pre)
Pre - test	Mes 1	334.596667	4.80	69.71
	Mes 2	332.47	4.83	68.79
	Mes 3	332.68	5.00	66.54
	Mes 4	332.10	5.67	58.61
	Mes 5	325.90	5.47	59.62
	Mes 6	322.44	5.90	54.65

Fuente: Elaboración propia

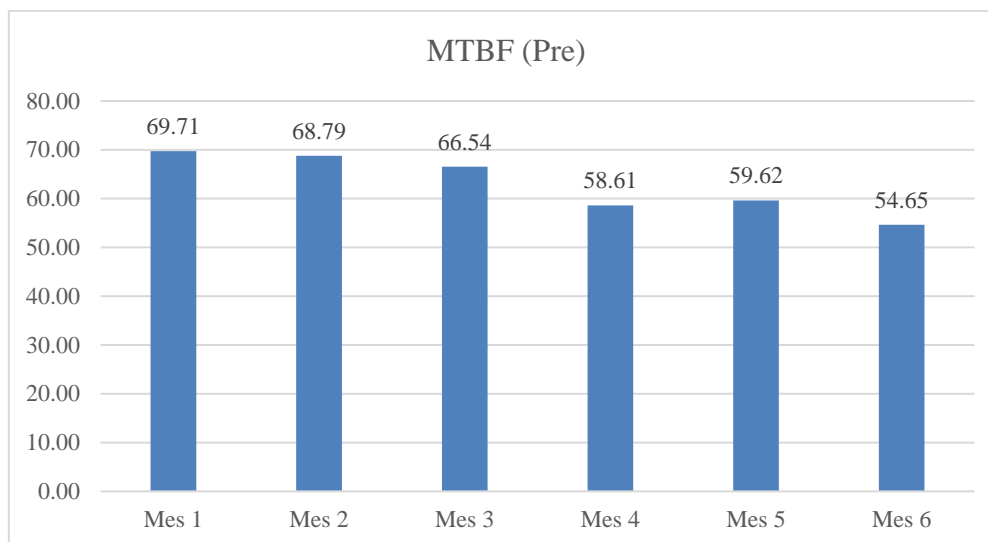


Figura 7 Tiempo medio entre fallas (MTBF) inicial

Fuente: Elaboración propia

En la tabla mostrada se tiene que el tiempo medio entre fallas, también conocido como MTBF, se fue reduciendo durante los 6 meses analizados, ello debido al aumento del número de fallas registrado. A su vez, en el grafico mostrado se evidencia la disminución del MTBF

en la etapa previa, pasando de 69.71 a 54.65. De forma similar, se comenta sobre el tiempo medio para las reparaciones.

Tabla 10

Tiempo medio para reparaciones (MTTR) inicial

Escenario	Mes	MTBF		
		Horas de mant. Correct	Nº Fallas	MTTR (Pre)
Pre - test	Mes 1	25.40	4.80	5.29
	Mes 2	27.53	4.83	5.70
	Mes 3	27.32	5.00	5.46
	Mes 4	27.90	5.67	4.92
	Mes 5	34.10	5.47	6.24
	Mes 6	37.56	5.90	6.37

Fuente: Elaboración propia

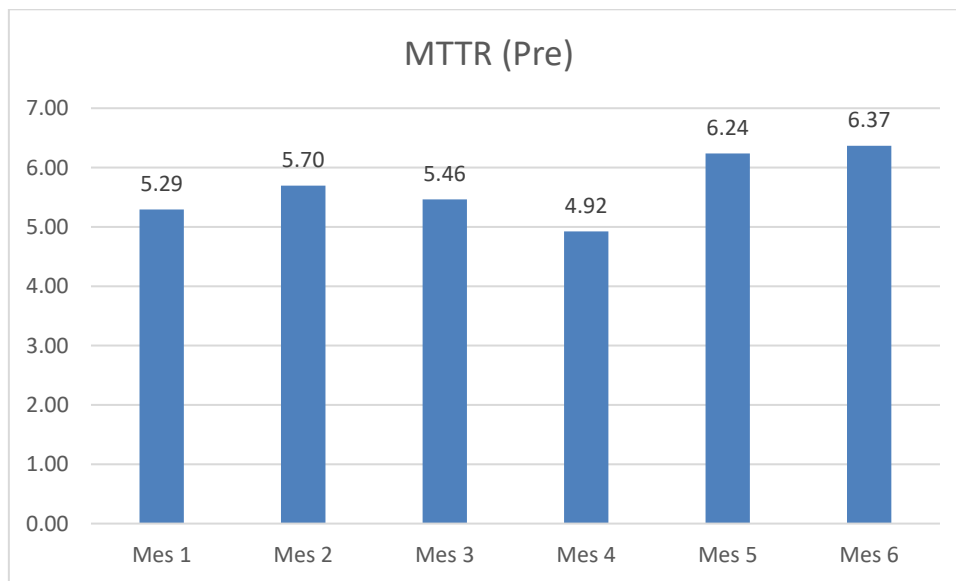


Figura 8 Tiempo medio para reparaciones (MTTR) inicial

Fuente: Elaboración propia

En el análisis del tiempo medio para reparaciones, también conocido como MTTR, se observa que dicho indicador fue en aumento considerablemente, ello como resultado del aumento del número de fallas. A su vez, en el gráfico de barras mostrado se observa un aumento desde el primer mes al tercero, pasando de 5.29 a 5.46; seguidamente, en el cuarto mes se registró una disminución del indicador, para luego subir hasta 6.37 en el último mes.

A partir de ambos datos indicadores es posible obtener la disponibilidad y dicho análisis se presenta a continuación.

Tabla 11

Disponibilidad inicial

Escenario	Mes	MTBF (Pre)	MTTR (Pre)	Disponibilidad (Pre)
Pre - test	Mes 1	69.71	5.29	92.9%
	Mes 2	68.79	5.70	92.4%
	Mes 3	66.54	5.46	92.4%
	Mes 4	58.61	4.92	92.3%
	Mes 5	59.62	6.24	90.5%
	Mes 6	54.65	6.37	89.6%

Fuente: Elaboración propia

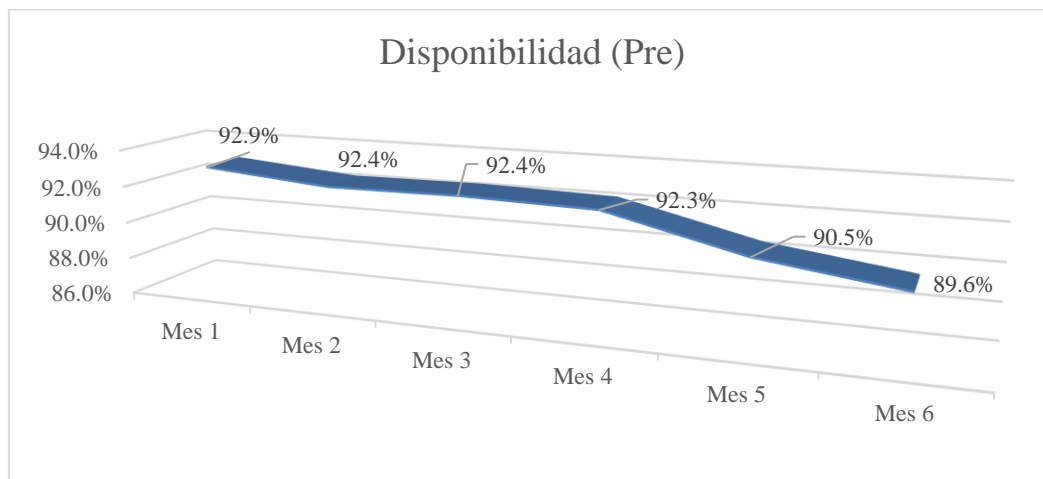


Figura 9 Disponibilidad inicial

Fuente: Elaboración propia

Se mostraron los valores obtenidos para el indicador de disponibilidad, el cual representa la cantidad de tiempo en que los equipos se encuentran disponibles y libres de fallas; entonces, se tiene que la disponibilidad de los equipos se mantuvo estable durante los 5 primeros meses y disminuyó para los últimos 2 meses. Adicionalmente, en el grafico anterior se muestra la evolución lineal del indicador disponibilidad, donde se observa que en los 4 primeros meses su valor osciló entre 92.3% y 92.9%, disminuyendo a 90.5% para el quinto mes y a 89.6% en el último mes.

Diagrama de Causa-Efecto

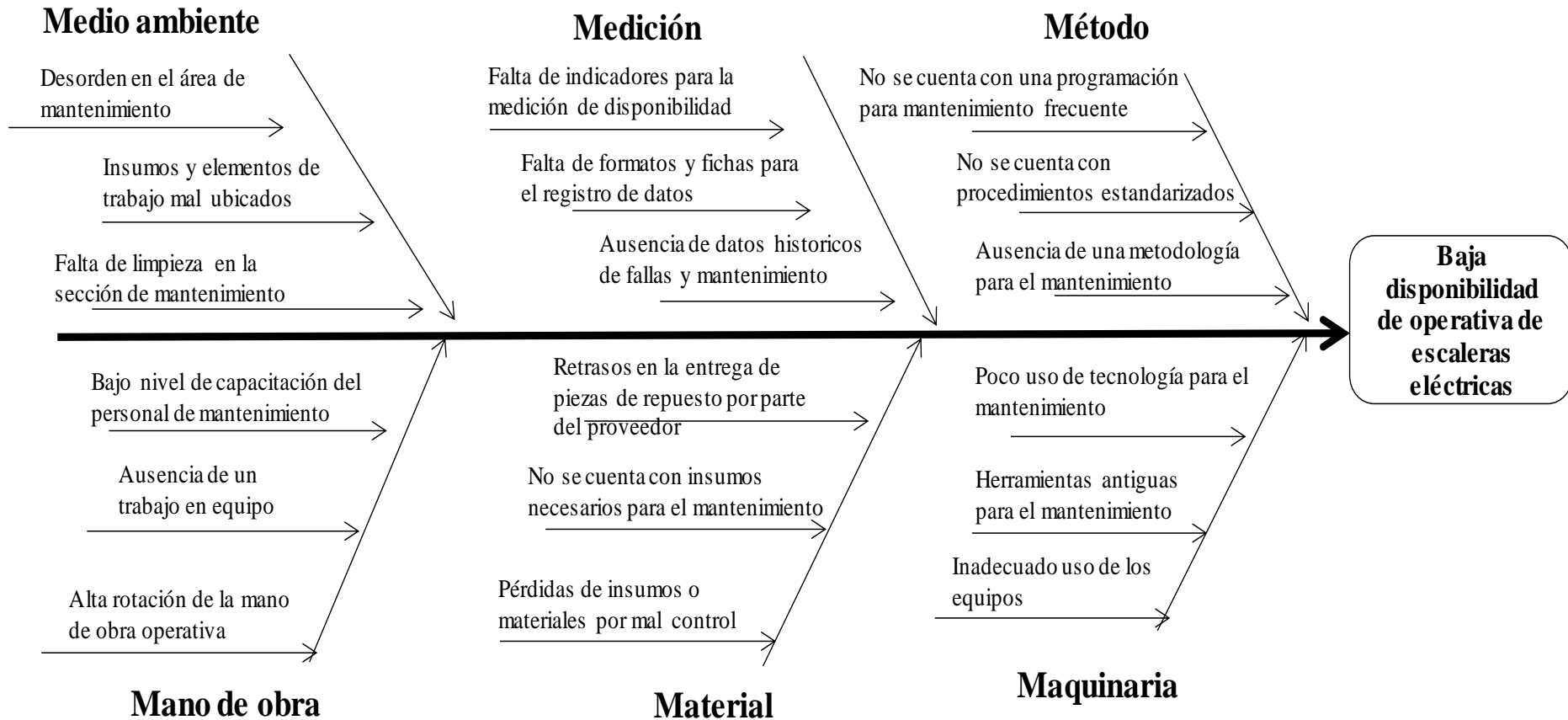


Figura 10 Diagrama de Ishikawa

Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior se muestra el listado de los inconvenientes, a modo de causas que generan el problema principal, que se identificaron en el área de mantenimiento de acuerdo con el enfoque que afectan, es decir, respecto a los lineamientos del medio ambiente, medición, método, mano de obra, materiales y maquinarias. Sobre el tema del medio ambiente (área de trabajo) se comenta que se evidenció un desorden en el área de mantenimiento, la presencia de insumos y elementos de trabajo mal ubicados y la falta de limpieza en la sección; todo ello ocasiona que las labores no se den en las mejores condiciones y repercute sobre la disponibilidad. En segundo lugar, sobre la medición se observa la ausencia de datos históricos de fallas y tiempos de mantenimiento, la falta de formatos y fichas para el registro de los datos y la ausencia de indicadores para la medición clara sobre la disponibilidad. Por otro lado, respecto al método, no se cuenta con una programación para el mantenimiento frecuente, la falta de procedimientos estandarizados y ausencia de una metodología para el trabajo de mantenimiento.

Asimismo, para el aspecto de la mano de obra, se indicó que existe un bajo nivel de capacitación del personal de mantenimiento, la ausencia de un trabajo articulado en equipo y existe una alta rotación de la mano de obra operativa lo cual dificulta la reparación rápida de los equipos. Sobre el material de trabajo, se comenta sobre los retrasos en la entrega de piezas de repuesto por parte del proveedor, no se cuenta con insumos necesarios para el mantenimiento y existe pérdidas de insumos o materiales por mal control y supervisión. Finalmente, en el análisis de la maquinaria empleada para el mantenimiento, se menciona el poco uso de la tecnología, la presencia de herramientas antiguas y el inadecuado uso de los equipos y máquinas para el mantenimiento.

A partir de este punto es posible mostrar el impacto de cada causa sobre el problema principal a través de la puntuación de expertos en el tema para hallar la frecuencia relativa y acumulada de las causas sobre la baja disponibilidad. Dicho análisis podrá dar solución al problema mediante la solución de los factores críticos que más afecten a la disponibilidad; para ello se presenta la siguiente tabla.

Tabla 12

Puntuaciones de las causas

N°	Descripción de Partida	E1	E2	E3	E4	E5	E6	Punt.	Frec. Relativa	Frec. Acumulada
1	Ausencia de una metodología para el mantenimiento	10	10	10	10	9	10	59	20.8%	21%
2	No se cuenta con procedimientos estandarizados	10	9	10	10	9	10	58	20.5%	41%
3	Falta de indicadores para la medición de disponibilidad	10	8	9	9	9	10	55	19.4%	61%
4	Falta de formatos y fichas para el registro de datos	10	8	10	9	8	8	53	18.7%	80%
5	Bajo nivel de capacitación del personal de mantenimiento	4	2	3	3	3	2	17	6.0%	86%
6	Ausencia de datos históricos de fallas y mantenimiento	2	2	2	1	1	2	10	3.5%	89%
7	Desorden en el área de mantenimiento	2	1	1	1	1	1	7	2.5%	92%
8	Poco uso de tecnología para el mantenimiento	1	1	1	1	1	1	6	2.1%	94%
9	No se cuenta con insumos necesarios para el mantenimiento	0	1	1	1	1	1	5	1.8%	95%
10	Alta rotación de la mano de obra operativa	1	0	1	0	0	1	3	1.1%	96%
11	Retrasos en la entrega de piezas de repuesto por parte del proveedor	0	1	1	0	0	1	3	1.1%	98%
12	Pérdidas de insumos o materiales por mal control	1	1	0	0	0	0	2	0.7%	98%
13	No se cuenta con una programación para mediciones frecuentes	0	1	0	0	0	1	2	0.7%	99%
14	Insumos y elementos de trabajo mal ubicados	0	0	0	0	0	1	1	0.4%	99%
15	Ausencia de un trabajo en equipo	0	0	0	0	0	1	1	0.4%	100%
16	Herramientas antiguas para el mantenimiento	0	0	0	0	0	1	1	0.4%	100%
17	Inadecuado uso de los equipos	0	0	0	0	0	0	0	0.0%	100%
18	Falta de limpieza en la sección de mantenimiento	0	0	0	0	0	0	0	0.0%	100%
TOTAL								283	100%	

Fuente: Elaboración propia

Es posible observar, luego de la suma de la puntuaciones de expertos, que el factor más importante fue la ausencia de una metodología para el mantenimiento con 59 puntos y una frecuencia relativa de 20.8%, seguido por no contar con procedimientos estandarizado con 58 puntos y el 20.5% de frecuencia relativa; a continuación se ubica la falta de indicadores para la medición de disponibilidad con 55 y el 19.4% de frecuencia y la falta de formatos y fichas para el registro de datos con 53 puntos y el 18.7% de frecuencia relativa. A partir de este punto se ubican causas con menor impacto pero relevantes como el bajo nivel de capacitación del personal (17 puntos) y la ausencia de datos históricos (10 puntos). Por otro

lado, existen causas que logran un impacto mucho menor dado que su frecuencia relativa sobre el problema es inferior al 2%, tales como los insumos y elementos de trabajo mal ubicados, la ausencia de un trabajo en equipo, herramientas antiguas para el mantenimiento, entre otros. Para graficar el escenario mostrado anteriormente se presenta la siguiente figura.

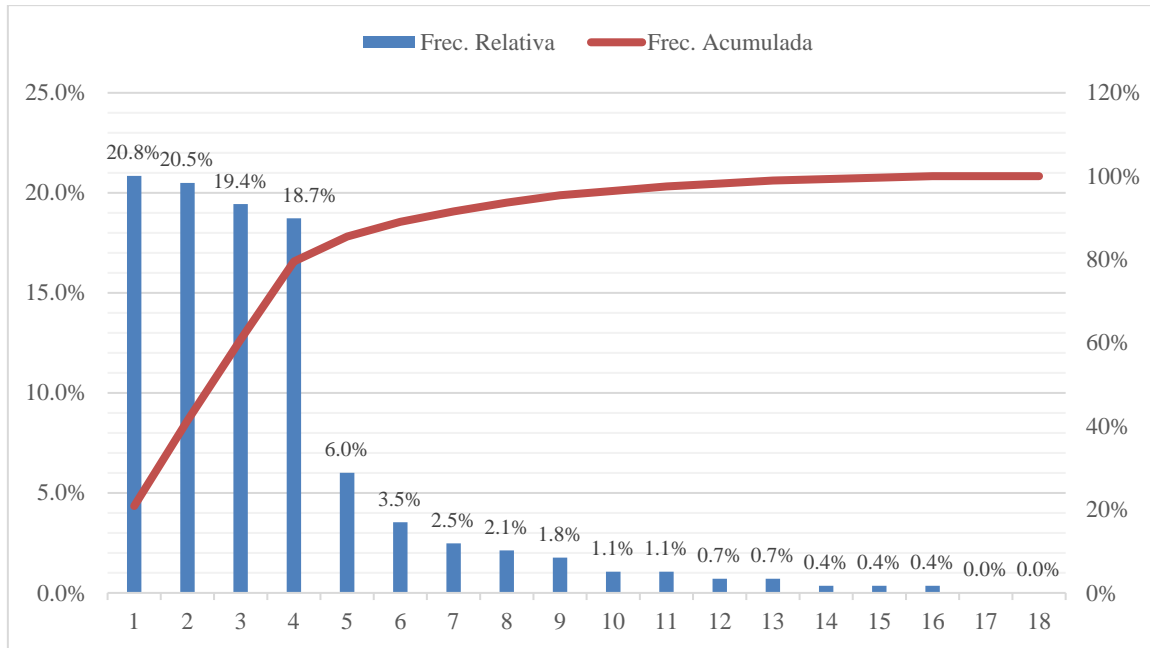


Figura 11 Diagrama de Pareto

Fuente: Elaboración propia

La figura anterior permite mostrar que los hallazgos respecto a las causas de la disponibilidad de los equipos cumplen con el principio de Pareto, donde se señala que el 20% de las causas genera el 80% del problema principal. A partir de ello, se pueden plantear alternativas de mejora que logren solucionar dichos inconvenientes para generar un alto impacto en el problema principal a través del uso de las herramientas de la ingeniería.

3.4. Desarrollo de la mejora

Planificación

En la presente sección se muestran los pasos a seguir para la implementación de la mejora. En primer lugar, se realiza la planificación de la mejora tal y como se muestra a continuación a través de un diagrama de Gantt.

Tabla 13

Cronograma de implementación

Paso	Actividad	Respons	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6			
			Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4
Identificación de situación inicial de fallas	Reunión de planificación	Miguel	■																							
	Análisis de situación inicial del mantenimiento	Miguel		■																						
	Elección del comité de trabajo	Miguel		■																						
	Definición de metas en nivel de disponibilidad	Miguel			■																					
	Creación de indicadores	Miguel			■																					
Gestión del trabajo de mantenimiento	Diseño de formatos para el control de Mantenimiento	Miguel			■	■																				
	Determinar flujo del proceso	Miguel				■	■																			
	Creación de diagramas de gestión	Miguel					■	■																		
Gestión de la zona de trabajo	Orden en el área	Miguel					■	■	■																	
	Gestión del área	Miguel					■	■	■	■	■															
	Crear sistema y programación de limpieza	Miguel						■	■																	
Capacitación	Control del orden por formatos	Miguel			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Capacitación en MCC	Miguel					■	■	■																	
	Capacitación en mantenimiento de escaleras eléctricas	Miguel						■	■																	
	Mantenimiento en sistema eléctrico	Miguel								■	■	■														
Confiabilidad del proceso	Capacitación en mantenimiento preventivo	Miguel									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Hoja MCC	Miguel								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Análisis de confiabilidad	Miguel								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Diseño de formato de inspecciones	Miguel								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Gestión de resultados	Programación de supervisión	Miguel												■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Cálculos finales	Miguel																						■	■	■
	Comparación de indicadores	Miguel																							■	■
	Cálculo del beneficio económico	Miguel																							■	■

Elaboración propia

En la tabla mostrada se comenta que el paso o etapa de identificación de situación inicial de fallas, donde se incluyen actividades como reunión de planificación, elección de comité de trabajo, creación de indicadores, entre otros, se llevarán a cabo durante las 3 primeras semanas del mes 1. Seguidamente, para el paso de gestión del trabajo de mantenimiento, donde se incluyen actividades como el diseño de formatos para el control de mantenimiento, determinar flujo del proceso, creación de diagramas de gestión y orden en el área, se utilizará la última semana del mes 1 y todo el mes 2; también, para el paso de gestión del área de trabajo se utilizan parte del mes 2 y del mes 3, siendo que la actividad de control del orden por formatos inicia desde la tercera semana del mes 1 y se realiza periódicamente hasta 1 semana antes de culminar el periodo total.

A su vez, en el paso de capacitación se tiene que tanto la capacitación en MCC y en mantenimiento de sistema eléctrico tendrán una duración de 3 semanas, mientras que la capacitación en mantenimiento preventivo posee una duración de 13 semanas. También, se indica el cronograma para el paso de confiabilidad del proceso, donde se encuentran actividades como hoja MCC, análisis de confiabilidad, diseño de formato de inspecciones y programación de supervisión; por último, para cumplir el paso de gestión de resultado se utilizan las últimas 3 semanas del periodo.

Actividad 1: Identificación de situación inicial de fallas

Para conocer a detalle las características del mecanismo de fallo de las escaleras eléctricas, es necesario efectuar un análisis de fallas, a fin de conocer cuál de ellas es la más impactantes y así plantear una alternativa que logre solucionar los problemas de forma efectiva para incrementar el nivel de disponibilidad. Para ello, se ha efectuado un listado de las fallas y su frecuencia a lo largo de los meses previo a la implementación de la metodología, lo cual se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 14

Análisis de fallas inicial

N°	Tipo de fallas	M1	M2	M3	M4	M5	M6	Total
1	Ruido en curva de pasamano	43	40	37	36	34	40	230
2	Recalentamiento de bobina de freno	33	34	36	35	31	34	203
3	Contacto de cadena de pasos	25	24	30	34	28	32	173
4	Fusibles SIF1 con averías	15	16	18	24	25	23	121
5	Sistema RBI	9	10	9	14	18	15	75
6	Fajas de tracción	7	8	6	9	12	11	53
7	Bloqueo de conexiones de control y tarjeta de maniobra	4	5	5	7	5	7	33
8	Circuito relay RKPH	4	3	4	5	4	6	26
9	Desgaste de llave de arranque	3	3	3	4	4	5	22
10	Chapa de encendido de escalera	1	2	2	3	3	4	15
	Total de fallas	144	145	150	170	164	177	950

Elaboración propia

El análisis de fallas inicial determina que de forma global durante los seis primeros meses de análisis (escenario previo) la falla más frecuente fue el ruido en la curva de pasamano con 230 fallas en total, lo que implica valores mínimos y máximos de 34 a 43 fallas cada mes, respectivamente. En segundo lugar, se ubica el recalentamiento de bobina de freno con 203 fallas con valores mensuales que fluctúan entre 31 y 36 fallas. En tercer lugar, se menciona la presencia de contacto de cadena de pasos con 173 fallas en 6 meses y los fusibles SIF1

con averías; hasta este punto se ubican los problemas más representativos en las fallas de las escaleras eléctricas. Con un menor impacto se observa la presencia de problemas en el sistema RBI (75 fallas), las fallas en las fajas de tracción (53), el bloqueo de conexiones de control y tarjeta de maniobra (33) y los circuito relay RKPH (26), entre otros.

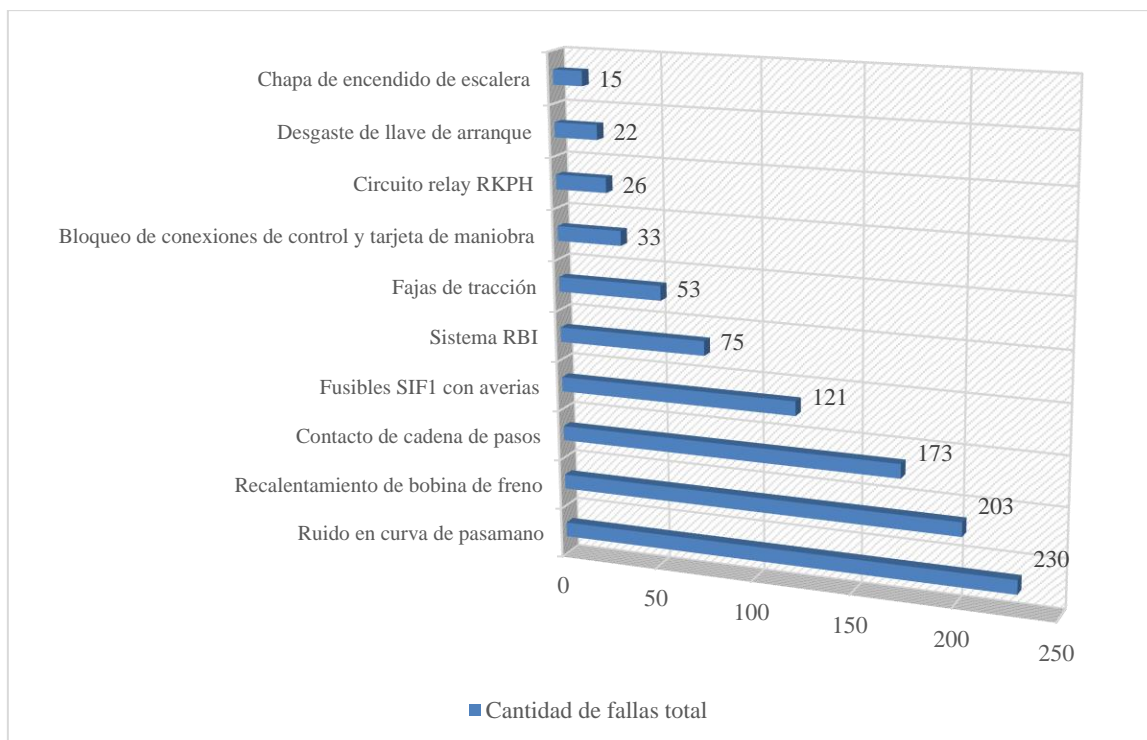


Figura 12 Análisis de frecuencia de fallas inicial

Fuente: Elaboración propia

La figura anterior muestra de forma gráfica la diferencia entre la cantidad de fallas entre cada tipo a fin de observar cuales han sido las más frecuentes dentro del análisis previo a la implementación. Para complementar el análisis para la prioridad de riesgo inicial, se debe efectuar una evaluación en conjunto, considerando la frecuencia, detección y severidad en las fallas. En este sentido, se realizó en análisis del nivel de prioridad de riesgo de cada falla, en tanto que se asignan puntuaciones del 1 al 10 para cada aspecto, siendo 1 el puntaje más bajo y 10 el más alto; dicha información se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 15

Análisis de nivel prioritario de riesgo (NPR) inicial

Tipo de fallas	Frecuencia	Severidad	Detección	NPR
Ruido en curva de pasamano	10	8	7	560
Recalentamiento de bobina de freno	9	9	8	648
Contacto de cadena de pasos	8	7	10	560
Fusibles SIF1 con averías	7	10	9	630
Sistema RBI	6	5	6	180
Fajas de tracción	5	4	5	100
Bloqueo de conexiones de control y tarjeta de maniobra	4	6	1	24
Circuito relay RKPH	3	1	4	12
Desgaste de llave de arranque	2	2	2	8
Chapa de encendido de escalera	1	3	3	9

Elaboración propia

El análisis del nivel de prioridad de riesgo indica que la falla con mayor puntaje es el recalentamiento de bobina de freno dado que su nivel de frecuencia es de 9 puntos, la severidad de 9 puntos y la dificultad de detección de 8 puntos, todo ello arroja un valor global de 648 puntos. En segundo lugar, se ubica las fallas en los fusibles SIF1 que obtienen un puntaje total de 630, seguido por el ruido en la curva de pasamano y el contacto de cadena de paso, ambos con 560 puntos. Otras fallas importantes fueron los problemas en el sistema RBI con 180 puntos y las fajas de tracción con 100 puntos. Los factores con menor nivel de riesgo se asocian al bloqueo de conexiones de control y tarjeta de maniobra con 24 puntos, el circuito relay RKPH 12 con puntos, el desgaste de llave de arranque con 8 puntos y finalmente, la chapa de encendido de escalera con 9 puntos

Tabla 16

Valores para el nivel de prioridad de riesgo previo

Puntaje	Descripción
500 – 1000	Alto riesgo de falla
125 – 499	Riesgo de falla medio
1 – 124	Riesgo de falla bajo
0	No existe riesgo de falla

Fuente: Gupta y Sri (2014)

De acuerdo con la información mostrada, existen 4 tipos de fallas que se encuentran en un nivel de riesgo alto y requieren un tratamiento en el menor tiempo posible, ellas son el ruido en curva de pasamano, el recalentamiento de bobina de freno, contacto de cadena de pasos y los fusibles SIF1 con averías. Por otro lado, también es importante analizar las fallas que se encuentran en un nivel medio, en este caso, solo se encuentra los problemas con el sistema RBI y luego todas las demás fallas presenta un riesgo bajo, por lo que su tratamiento puede ser postergado a fin de centrar la atención en los aspectos más graves.

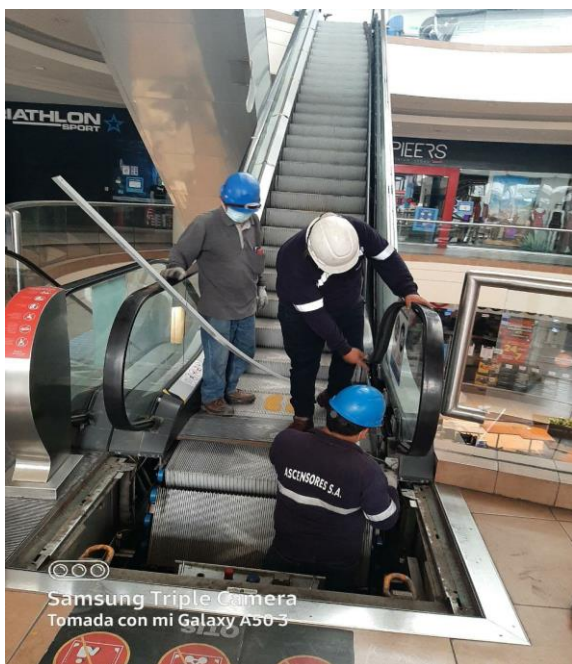


Figura 13 Evidencia de la identificación de fallas inicial

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la imagen anterior, dentro de los trabajos de mantenimientos se identifica el tipo de falla y se procede a dar solución al problema, en este caso se trata de averías en la curva de pasamano.

Actividad 2: Gestión del trabajo de mantenimiento

Los detalles del procedimiento para el mantenimiento de equipos por parte del personal operativo se constituyen en 7 ítems, los cuales se resumen en la siguiente ficha:

PR- 01	Procedimiento para el mantenimiento de equipos por parte del personal operativo	Pág. 01
Versión 01		__/__/2020
<p>I. Objetivo La finalidad del presente documento es determinar una metodología para el desarrollo de las actividades en el programa MCC. Para lograr un trabajo estandarizado se debe cumplir con la secuencia de las actividades en el tiempo determinado. Cuando este cumplimiento sea el adecuado se lograrán resultados más eficientes, con un mínimo margen de error y sin accidentes.</p> <p>II. Meta Tener el total de los trabajadores capacitados para las actividades de mejora, para lo cual deben desarrollar sus habilidades estratégicas en el proceso de mantenimiento</p> <p>III. Alcance Este plan debe ser aplicado a todo el personal, tanto al área administrativa, técnica y operacional</p> <p>IV. Material a consultar *Material proporcionado por proveedores * Flujograma de trabajo estandarizado *Evaluaciones de desempeño *Formatos de capacitación</p> <p>V. Responsabilidad *En los equipos de trabajo formados, el encargado debe velar por el cumplimiento *El jefe del área debe velar por la capacitación en habilidades estratégicas</p> <p>VI. Recursos *Recurso humano de trabajadores y personal técnico *Recursos materiales como herramientas e insumos.</p> <p>VII. Descripción del procedimiento Definición de trabajo estandarizado Descripción de procedimientos estandarizados Determinación lógica de actividades Uso de herramientas Explicar los procesos a seguir Auditorias y controles</p>		

Figura 14 Procedimiento para el trabajo de mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

El primer ítem expone el objetivo principal del procedimiento para el mantenimiento de equipos, donde se detalla que la presente ficha tiene como finalidad determinar la metodología para desarrollar las actividades en el programa MCC. También, en el ítem II se expone la meta, la misma que consiste en capacitar al total de trabajadores mediante el

desarrollo de sus habilidades estratégicas; a su vez, en el alcance del plan se señala que este debe alcanzar al total del personal. En el ítem IV se detallan los materiales a consultar, entre ellos flujogramas y otros formatos; seguidamente, se explican las responsabilidades y recursos. Por último, se describe el procedimiento que consiste en la definición de trabajo estandarizado, descripción de procedimientos estandarizados, determinación lógica de actividades, uso de herramientas, explicar los procesos a seguir y ejecutar auditorías y controles.

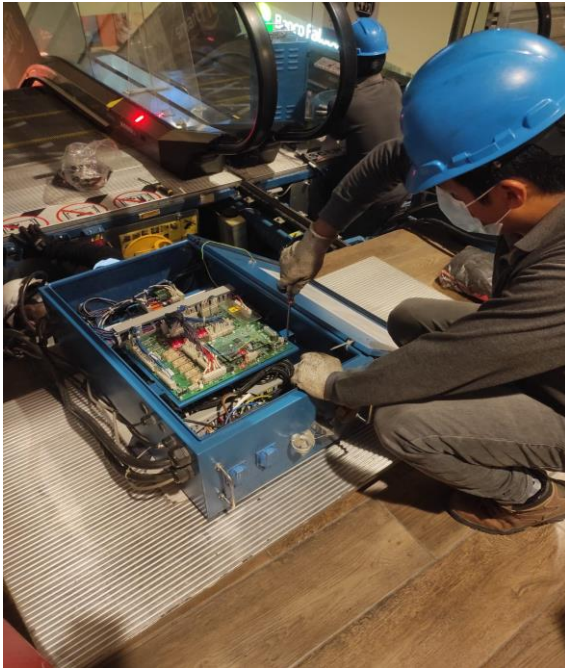


Figura 15 Evidencia de la gestión del trabajo de mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior se evidencia el proceso de mantenimiento a fin de lograr un funcionamiento óptimo de la escalera eléctrica, lo cual es necesario para el incremento de su disponibilidad a lo largo del tiempo; para ello, se emplean las herramientas adecuadas junto con un procedimiento sistemático para mejorar la situación inicial.

		FICHA PARA MANTENIMIENTO						F01-PR-GTH-20
AREA	SEDE:						FECHA(DD/MM/AAA)	
ENCARGADO								
ASPECTOS A VERIFICAR	CUMPLIMIENTO			GRADO DE ACCIÓN *			OBSERVACIONES	
	SI	NO	NA	A	B	C		
				INME DIAT	PRON TA	POST ERIOR		
Limpieza								
Limpieza lavado del serpentín requerimientos de materiales								
Limpieza del sistema eléctrico								
Limpieza de drenaje, bandeja y filtros de aire								
Mantenimiento preventivo								
Lubricación								
Rodamientos								
Gas								
Funcionamiento operativo								
Conexión eléctrica								
Peldaños								
Banda								
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.								
Los tableros y cajas estan libres de obstáculos.								
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		
FIRMA								

Figura 16 Ficha para el control de mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, en la figura anterior comenta sobre la ficha para mantenimiento donde se incluirán los datos de registro y los aspectos a verificar, entre los que se encuentran actividades como limpieza, mantenimiento preventivo, sistema eléctrico y peligro mecánico. También, se incluye una sección con preguntas y observación de tareas, orientadas a medir el nivel de preparación de los trabajadores ante un incidente; por último, se incluye una sección para los comentarios que contengan información adicional.

Tabla 17

Registro de inspección del trabajo estandarizado

N°	Características	Sí	No	OBS
Lineamientos Generales de Trabajo Estandarizado				
1	El trabajador sólo se desarrolla en los procesos para las que ha sido entrenado o dentro de sus competencias			
2	Los procesos son revisados verificando que cada paso esté bien desarrollado			
3	Previo a poner en funcionamiento a la máquina se verifica que la mercadería de manufactura esté bien ubicada.			
4	Se verifica el correcto funcionamiento del proceso			
5	Se previene la acción de no conformidades de algún otro trabajador cuando se encuentra en operaciones			
6	Uso de recursos necesarios y adecuados			
Lineamientos para conservar la calidad				
9	Se realiza limpieza tanto interna como externa con ayuda de sistema de limpieza			
10	Se realizaron las capacitaciones pertinentes al personal acerca de los dispositivos protectores, acerca de la máquina su adecuado uso y su capacidad mínima y máxima.			
11	Se cuenta con los lineamientos para el adecuado proceso			
12	Se respeta la secuencia de actividades para la reducción de tiempos			
13	Se evalúan los costos al momento de hacer los pedidos			
14	Se cuenta con el stock adecuado para el nivel de servicio			
	Restricciones: _____ _____			
	Operador Responsable de Área			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se muestra el registro de inspección del trabajo estandarizado que contiene los lineamientos generales del trabajo estandarizado; entre los lineamientos se responderá afirmativa o negativamente a preguntas sobre si el trabajador desarrolla solo en los procesos para lo que fue entrenado, si los procesos son revisados verificando que cada paso se haya realizado correctamente, si se verifica el correcto funcionamiento del proceso, entre otros. A su vez, se verifican los lineamientos para conservar la calidad, que incluyen la revisión de aspectos como la limpieza interna y externa, las capacitaciones al personal, cumplimiento adecuado del proceso, entre otros similares. Finalmente, en el documento se registran las restricciones señaladas por el operador responsable del área.

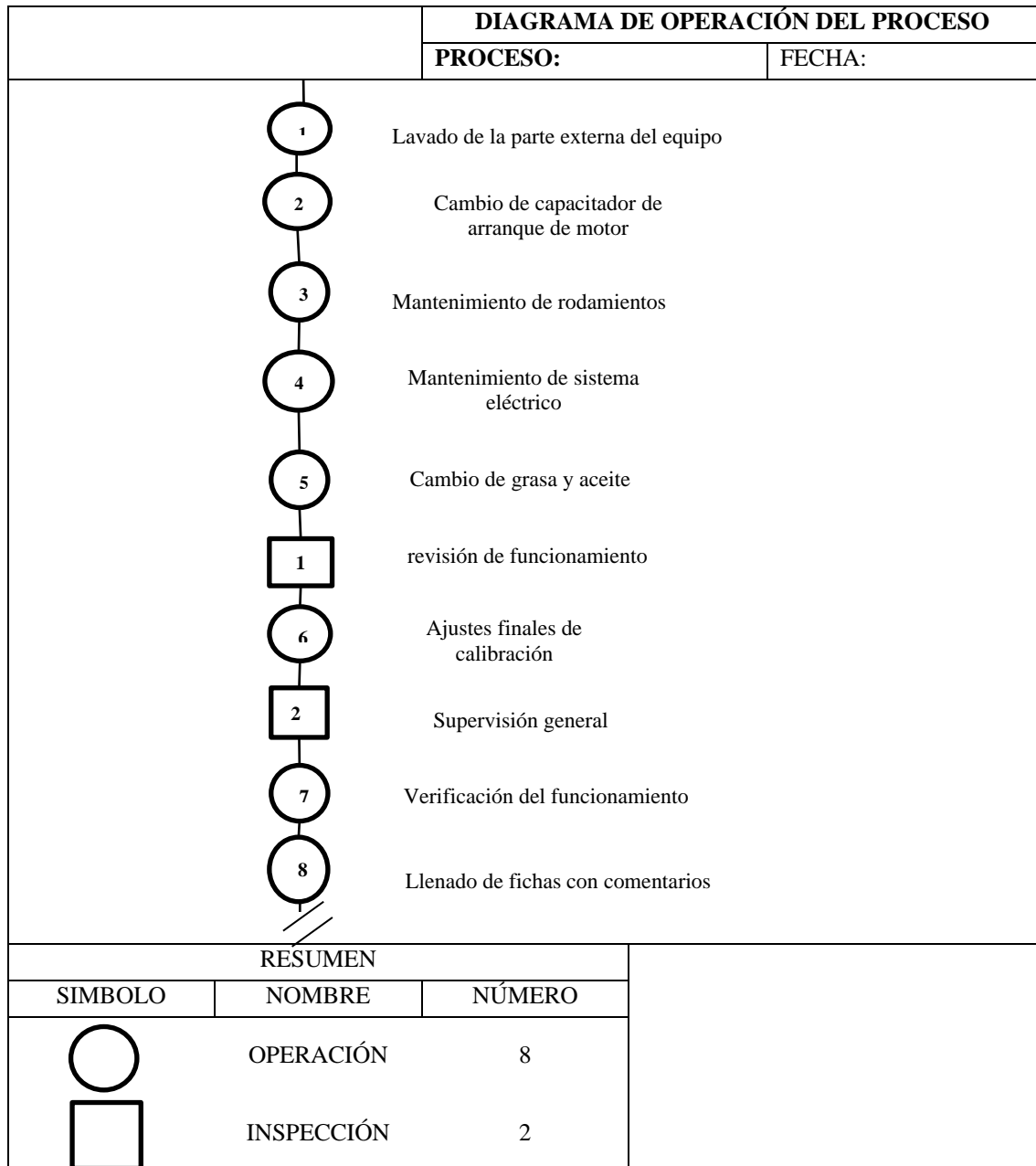


Figura 17 Diagrama de operaciones del proceso

Fuente: Elaboración propia

En figura se expone el diagrama de operaciones del proceso (DOP) donde se explican las operaciones que componen el proceso en cuestión. Inicialmente, se realiza el lavado de la parte externa del equipo, seguido del cambio de capacitador de arranque de motor y el mantenimiento de rodamientos; luego, se lleva a cabo el cambio de grasa y aceite para en seguida revisar el funcionamiento del equipo. Finalmente, se realizan las calibraciones finales, pasa por supervisión general y se verifica el funcionamiento; luego, se culmina con el llenado de fichas con comentarios.

Tabla 18

Diagrama de análisis del proceso

Diagrama De Análisis del Proceso									
Diagrama Nro.	Hoja __ de __	RESUMEN							
PRODUCTO:		Actividad	Actual	Propuesta	Economía				
		Operación	3						
Proceso:		Transporte							
		Espera							
Método:	Actual/Propuesto	Inspección	7						
Lugar:		Almacenamiento							
Operario (s):		Distancia (m)							
Ficha núm.:		Tiempo (min)	145						
Descripción	Cantidad	Tiempo	Símbolo					Observaciones	
			○	□	D	⇒	▽		
Limpieza lavado del serpentín	1	25	X						
requerimientos de materiales									
Limpieza del sistema eléctrico	1	20	X						
Lubricación de rodamientos	1	35	X						
Inspección de motores ventiladores	1	10		X					
Limpieza de drenaje, bandeja y filtros de aire	1	20	X						
Supervisión	1	10		X					
Medición de presión de gas refrigerante	1	10	X						
Supervisión	1	10		X					
Verificación del funcionamiento	1	10	X						
Llenado de fichas con comentarios	1	5	X						
Total	10	145	7	3					

Fuente: Elaboración propia

En la figura se observa el diagrama de análisis del proceso, teniendo que la limpieza del lavado del serpentín utiliza 25 minutos, la limpieza del sistema eléctrico 20 minutos y la lubricación de rodamientos otros 35 minutos. Por otro lado, la inspección de motores se realiza durante 10 minutos y la limpieza de drenaje por otros 20 minutos; seguidamente, se lleva a cabo la supervisión, medición de presión, supervisión y verificación, utilizando un total de 40 minutos; finalmente, se utilizan los últimos 5 minutos para el llenado de fichas. En total, se contabilizan 145 minutos para el cumplimiento de la actividad.

Actividad 3: Gestión de la zona de trabajo

La tercera actividad corresponde a la gestión del área de trabajo, es decir, todos los aspectos relacionados al orden y limpieza del área de almacén o taller; a continuación, la exposición y análisis de las herramientas utilizadas:

Tabla 19

Cronograma de limpieza

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Turno Mañana	Limpiar pisos				Limpiar estaciones de trabajo	
Turno Tarde		Limpiar pasadizos		Limpiar el frontis		Limpiar mesas de trabajo
Turno Noche	Limpiar herramientas		Limpiar baños			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla mostrada se expone el cronograma de limpieza, el cual se divide en turno mañana, turno tarde y turno noche; las actividades consisten en la limpieza de pisos, pasadizos, herramientas, baños, frontis, estaciones de trabajo y mesas de trabajo.

Tabla 20

Formato de evaluación del orden en el área

Elemento	Puntaje	OBS
Orden general del área de trabajo	0	
¿Los pisos, vías peatonales, pasillos, entradas y salidas se encuentran libres de obstáculos y basura?		
¿El cableado de equipos se encuentra debidamente canalizados y no genera riesgo de caídas o de incendio?		
¿En el área de trabajo se encuentra basura, polvo, aceite, agua, combustibles, productos de limpieza y otros que podrían convertirse en un peligro a la salud y de incendio?		
¿Las mangueras para incendios y extintores se encuentran en su lugar correspondiente el cual es de fácil acceso?		
¿Los baños cuentan con todos los accesorios requeridos?		
¿El área de trabajo se encuentra libre de cajas, muebles, equipos o partes descartables que corresponden a otra área de la empresa?		
Organización general del área de trabajo	0	
El área se encuentra organizada.		
Se realiza la clasificación de residuos sólidos en forma correcta.		
Los residuos peligrosos se separan y disponen con empresas autorizadas.		
El sitio inspeccionado se encuentra en buen estado de aseo y mantenimiento.		
¿Hay un sitio específico, debidamente demarcado y con avisos orientadores para descartar la basura reciclable y no reciclable?		
Limpieza general del área de trabajo	0	
¿El piso de toda el área está limpio y seco?		
¿La basura está cubierta y es retirada con la frecuencia necesaria según su acumulación?		
¿Los pisos están libres de suciedad, escombros, aceite, partes, accesorios, cajas vacías, material de embalaje, etc?		
¿Los residuos de productos se recogen y se retiran del lugar con la frecuencia necesaria?		
Estandarización de actividades de orden y aseo en el área de trabajo	0	
Servicios higiénicos en buen estado y limpieza.		
Luminarias de baños en buen estado.		
Hay papel higiénico, jabón, toallas y papeleras con pedal y tapa.		
Están los inodoros limpios en buen estado.		
Se tienen reguladores o ahorradores de agua en los lavamanos y sanitarios.		

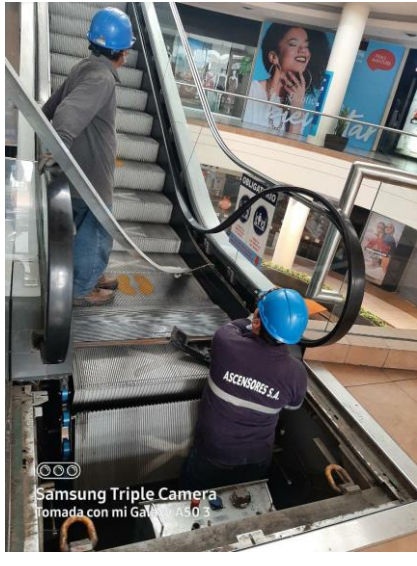

Fuente: Elaboración propia

A su vez, en la tabla anterior se expone el formato para la evaluación del orden en el área, donde se le otorgan porcentajes de cumplimiento a preguntas sobre la obstaculización de los pasillos, el correcto cableado de equipos, limpieza, entre otros. Asimismo, sobre la organización general del área de trabajo se responden a cuestionamientos sobre la organización del área, la correcta clasificación de residuos sólidos, etc; a su vez, sobre la limpieza general del área de trabajo se cuestiona sobre la limpieza del área, sobre el cuidado

de equipos útiles y el manejo de residuos. Por último, sobre la estandarización de actividades de orden y aseo en el área de trabajo se califica el buen estado de los servicios higiénicos, incluyendo la luminaria, los ahorradores de agua y los inodoros.

Tabla 21

Formato de evaluación del orden en el área

	Antes	Después
Ambiente de trabajo		

Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior se observa la evidencia de la mejora en la gestión del área de trabajo, en tanto que se puede notar el orden dentro del área, para lo cual se analizan las imágenes del ambiente de trabajo y del almacén de insumos y herramientas tanto para el momento inicial como para el momento posterior.

Actividad 4: Capacitación de trabajadores

La actividad 4 se desarrolla siguiendo los cronogramas y formatos establecidos, los cuales se exponen a continuación:

Tabla 22

Cronograma de capacitación

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
			1	2	3
			Inducción General		Procedimiento de mantenimiento de escaleras eléctricas
			Inducción		Cap. Especifica
5	6	7	8	9	10
Confiabilidad de equipos Charla 20 min				Metodología MCC Charla 20 min	
12	13	14	15	16	17
	Análisis FMEA Charla 20 min		Análisis de costos de mantenimiento y reparación Charla 20 min		Dudas y consultas sobre los avances Reunión Semanal
19	20	21	22	23	24
	Gestión de inventarios II Charla 20 min			Procedimiento de mantenimiento de escaleras eléctricas Charla 20 min	
26	27	28	29	30	31
		Tipología de fallas Charla 20 min		Repaso mensual Charla 20 min	Evaluación de aprendizaje Cap. Especifica

Elaboración propia

En la figura anterior se muestra el cronograma de capacitación para los trabajadores, el cual consiste en una sesión de inducción general, una segunda sesión para explicar el procedimiento del mantenimiento de escaleras eléctricas y una tercera sesión con una charla de confiabilidad de equipos; luego, se lleva a cabo una charla sobre metodología MCC para, posteriormente, brindar charlas de análisis FMEA y resolver dudas sobre lo trabajado. En la tercera y cuarta semana se realizan charlas sobre gestión de inventarios, procedimiento para el mantenimiento de escalera eléctrica, la tipología de fallas, entre otras.

Tabla 23

Formato de asistencia de capacitación

REGISTRO				Fecha	
ASISTENCIA A CAPACITACIÓN				___/___/2020	
Nombre de Capacitación:				Duración: 20 minutos	
Tema: Metodología MCC				Firma:	
Expositor: Miguel					
N°	Nombre	DNI	Área	Cargo	Firma
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					

Elaboración propia

También, se expone el formato de asistencia de capacitación, donde se registra el nombre de la capacitación, los datos del expositor y los datos de cada uno de los trabajadores asistentes. Para el correcto registro de los trabajadores se debe consignar nombre completo, DNI, área a la que pertenecen, cargo y firma.

HOJA DE CAPACITACIÓN: GESTIÓN DE MANTENIMIENTO		
NOMBRE DE LA CAPACITACIÓN		
Introducción a la metodología MCC		
OBJETIVOS GENERALES		
Objetivo General 1:	Desarrollar un mantenimiento de calidad, ágil al menor costo y empleando la mínima cantidad de materiales, equipos, espacio, trabajo y tiempo.	
OBJETIVOS ESPECÍFICOS		
Objetivo Específico 1:	Personal preparado para entender la necesidad de un cambio en la forma de trabajo.	
Objetivo Específico 2:	Personal capaz de determinar los principios de confiabilidad	
Objetivo Específico 3:	Conocer las implicancias para el incremento de la disponibilidad	
CONTENIDO TEMÁTICO		
Audiencia	Tema	Contenido
Todo el personal	Metodología MCC	* Factores críticos de éxito
		* Determinación de agentes de cambio
		* Administración de equipos de trabajo
		* Mejora continua de equipos de trabajo
		* Uso de herramientas para la implementación
		* Explicar la Hoja de ruta establecida
		* Beneficios de la aplicación del modelo
* Retroalimentación y mejora continua		
La Administración		

Figura 18 Procedimiento para la capacitación

Fuente: Elaboración propia

En la figura se muestra la hoja de capacitación para la gestión de mantenimiento que trata de una introducción a la metodología MCC y plantea como objetivo general desarrollar un mantenimiento de calidad, ágil y a bajo costo utilizando una cantidad mínima de materiales, equipos, espacio, trabajo y tiempo. Entre los objetivos específicos se espera que los trabajadores entiendan la necesidad de un cambio en la cultura de trabajo y que se encuentren en la capacidad de determinar los principios de confiabilidad. La charla está dirigida a todo el personal trabajador y se fundamenta en la exposición de los factores de éxito críticos, la mejora continua de equipos, beneficios de la aplicación del modelo, entre otros temas.

Tabla 24

Formato de evaluación de capacitación

Área:		Evaluado por:	
Fecha:	__/__/2020	Miguel MCC	
Evaluación de capacitación			
N°	Pregunta	Si	No
1	Ha entendido el mensaje		
2	Se ha utilizado las mejores palabras posibles		
3	Puede decir algunas cosas sobre la capacitación		
4	El sistema empleado ayuda a diferenciar procesos		
5	El sistema ayuda a establecer diferencias		
6	Ha considerado participar durante la charla		
7	Cree usted que el plan tendrá éxito en la empresa		
8	El tema ha sido el más adecuado para su área		
9	Tiene grandes dudas luego de la capacitación		
10	Es posible identificar beneficios por la implementación		
11	Identifica cambios para mejorar en su área		
12	Se actualizan de manera oportuna los datos de procesos		
13	El ritmo y frecuencia de acciones es el correcto		
14	Las responsabilidades son señaladas de manera clara		
15	El proceso de flujo de procesos es importante		
16	Una persona nueva podría adaptarse a las secuencias		
17	Una persona nueva podría llenar las formas correctamente		
18	El personal tiene conocimiento del plan actual		
19	Los recursos están disponibles para su uso		
20	Los participantes saben que pueden aportar nuevas ideas		

Elaboración propia

Luego de realizada la capacitación, se lleva a cabo la evaluación de la capacitación, cuyo formato a utilizar se muestra en la tabla anterior. En dicho formato se registra la información del evaluador responsable y las respuestas de los trabajadores respecto al conocimiento brindado en la capacitación, siendo un total de 20 preguntas.



Figura 19 Evidencia de las reuniones de capacitación (I)

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura anterior, es importante contar con un sistema de capacitaciones a fin de efectuar mejoras en el proceso operativo; a partir del cambio en el nivel de conocimiento de los colaboradores se puede lograr un impacto en las reparaciones y mantenimientos a equipos en la empresa.

Actividad 5: Confiabilidad del proceso

Hoja de decisión MCC

Un paseo trascendental para la gestión de cambios en las labores de mantenimiento es el empleo de las hojas de decisión MCC, las cuales permiten identificar el elemento más crítico y plantear alternativas de solución efectivas. En este sentido, se presenta la hoja de decisiones MCC que explica la frecuencia de fallas de los equipos analizados, el tipo de falla y las tareas propuestas a modo de solución.

Tabla 25

Hoja de decisión MCC

Hoja de decisiones MCC										Fecha:						
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)	A realizarse por
								S1	S2	S3						
	FA	FM	FB	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
	N1	N2	N3													
67SCH099	F			H										Mantenimiento preventivo	Semanal	Miguel
67SCH0XX	F			H										Control de electricidad	Semanal	Miguel
67SCH100	F			H										Gestión de motor	Semanal	Miguel
67SCH101	F			H	S									Limpieza interna	Semanal	Miguel
67SCH102	F				S									Cambio de grasa	Semanal	Miguel
67SCH103	F				S									Análisis de fallas	Semanal	Miguel
67SCH104		FF		H	S									Limpieza interna	Inter diario	Miguel
67SCH105		FF				E								Cambio de grasa	Inter diario	Miguel
67SCH106		FF					O							Análisis de fallas	Inter diario	Miguel
67SCH107		FF					O							Mantenimiento preventivo	Inter diario	Miguel
67SCH108		FF					O							Limpieza interna	Inter diario	Miguel
67SCH109		FF			S		O							Cambio de grasa	Semanal	Miguel
67SCH110		FF			S		O							Análisis de fallas	Semanal	Miguel
67SCH111		FF			S									Mantenimiento preventivo	Semanal	Miguel
67SCH112	F				S									Control de electricidad	Semanal	Miguel
67SCH113	F			H	S									Mantenimiento preventivo	Quincenal	Miguel
67NE6503	F			H										Control de electricidad	Quincenal	Miguel
67NE6504	F			H										Gestión de motor	Quincenal	Miguel
67NE6505	F			H	S	O								Mantenimiento preventivo	Inter diario	Miguel

67NE6506	F				S									Mantenimiento preventivo	Inter diario	Miguel
67NE6507	F				S									Mantenimiento preventivo	Inter diario	Miguel
67NE6508			FM		S	O								Control de electricidad	Semanal	Miguel
67NE6509			FM			O								Gestión de motor	Semanal	Miguel
67NE6510			FM	H		O								Limpieza interna	Semanal	Miguel
67NE6511			FM	H										Cambio de grasa	Semanal	Miguel
67NE6512			FM	H	S		E							Análisis de fallas	Quincenal	Miguel
67NE6572			FM		S		E							Control de electricidad	Quincenal	Miguel
67NE6573			FM			O	E							Gestión de motor	Quincenal	Miguel
67NE6634		FF				O								Mantenimiento preventivo	Semanal	Miguel
67NE6635		FF		H		O								Control de electricidad	Inter diario	Miguel

Fuente: Elaboración propia

Dónde: FB: Frecuencia baja, FM: Frecuencia media; FA: Frecuencia alta; H: fallas ocultas; S: falla por medidas de seguridad; O: falla operacionales; E: fallas por sistema eléctrico

En la tabla anterior se muestra se propone la tarea de mantenimiento preventivo a los equipos 67SCH099, 67SCH1107, 67SCH111, 67SCH113, 67NE6505, 67NE6506, 67NE6507 y 67NE664, dado que poseen frecuencias medias y altas, y a su vez presentan fallas ocultas, fallas por medidas de seguridad o fallas operacionales. A su vez, se determina que 7 equipos presentan una frecuencia de errores baja, entre los cuales se encuentran fallas ocultas, fallas del tipo operativo y fallas operacionales; entre las posibles soluciones a cada error se encuentran el control de electricidad, gestión de motor, limpieza interna, cambio de grasa, entre otros similares.

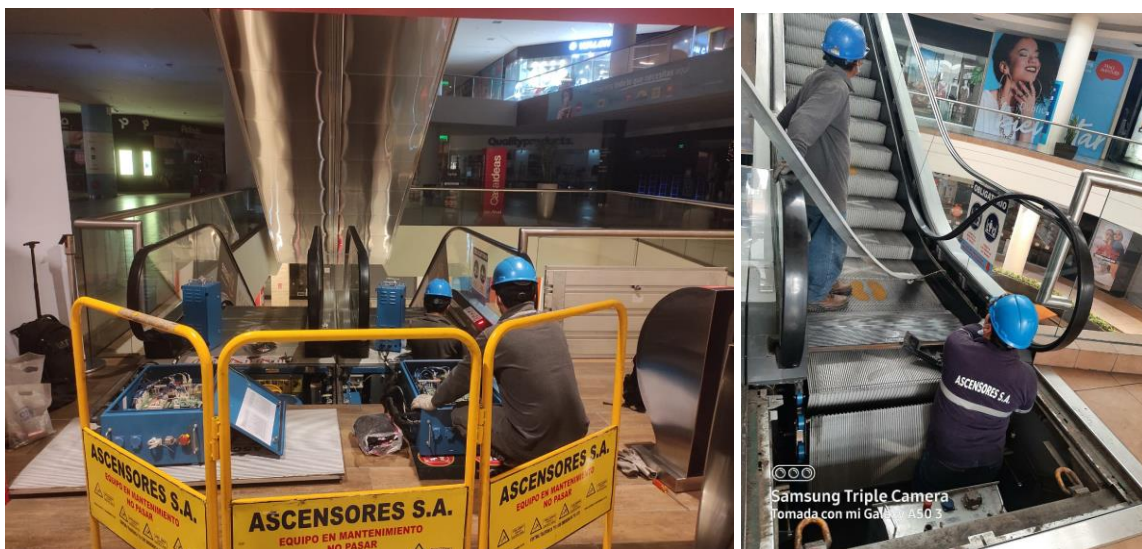


Figura 20 Evidencia de mantenimiento (I)

Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior se muestra a los trabajadores realizando sus labores de mantenimiento en la parte inferior y posterior de una escalera eléctrica, cumpliendo con los lineamientos establecidos.

Análisis de confiabilidad final

Para conocer a detalle el cambio en los mecanismos de fallo de las escaleras eléctricas se ha efectuado un listado de las fallas y su frecuencia a lo largo de los meses posteriores a la implementación de la metodología, lo cual se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 26

Análisis de fallas inicial

N°	Tipo de fallas	M1	M2	M3	M4	M5	M6	Total
1	Ruido en curva de pasamano	22	20	24	19	12	9	106
2	Recalentamiento de bobina de freno	20	18	20	16	10	9	93
3	Contacto de cadena de pasos	18	16	15	13	9	8	79
4	Fusibles SIF1 con averías	15	13	13	10	9	7	67
5	Sistema RBI	10	8	9	8	9	6	50
6	Fajas de tracción	9	8	6	7	6	4	40
7	Bloqueo de conexiones de control y tarjeta de maniobra	8	6	4	5	4	3	30
8	Circuito relay RKPH	7	5	4	4	3	2	25
9	Desgaste de llave de arranque	6	4	3	4	3	2	22
10	Chapa de encendido de escalera	6	4	3	4	3	2	22
	Total de fallas	121	102	101	90	69	52	535

Elaboración propia

El análisis de fallas inicial determina que de forma global durante los seis meses del escenario posterior en donde la falla más frecuente fue el ruido en la curva de pasamano con 106 fallas en total, lo que implica valores mínimos y máximos de 22 a 9 fallas cada mes, respectivamente; dicho escenario se presentan menos cantidad de fallas en comparación al escenario previo. En segundo lugar, se ubica el recalentamiento de bobina de freno con 93 fallas con valores mensuales que fluctúan entre 20 y 9 fallas. En tercer lugar se menciona la presencia de contacto de cadena de pasos con 79 fallas en 6 meses y los fusibles SIF1 con averías con 67 fallas; hasta este punto se ubican los problemas más representativos en las fallas de las escaleras eléctricas. Con un menor impacto se observa la presencia de problemas

en el sistema RBI (50 fallas), las fallas en las fajas de tracción (40), el bloqueo de conexiones de control y tarjeta de maniobra (30) y los circuito relay RKPH (25), entre otros. Para graficar este escenario se presenta la siguiente figura.

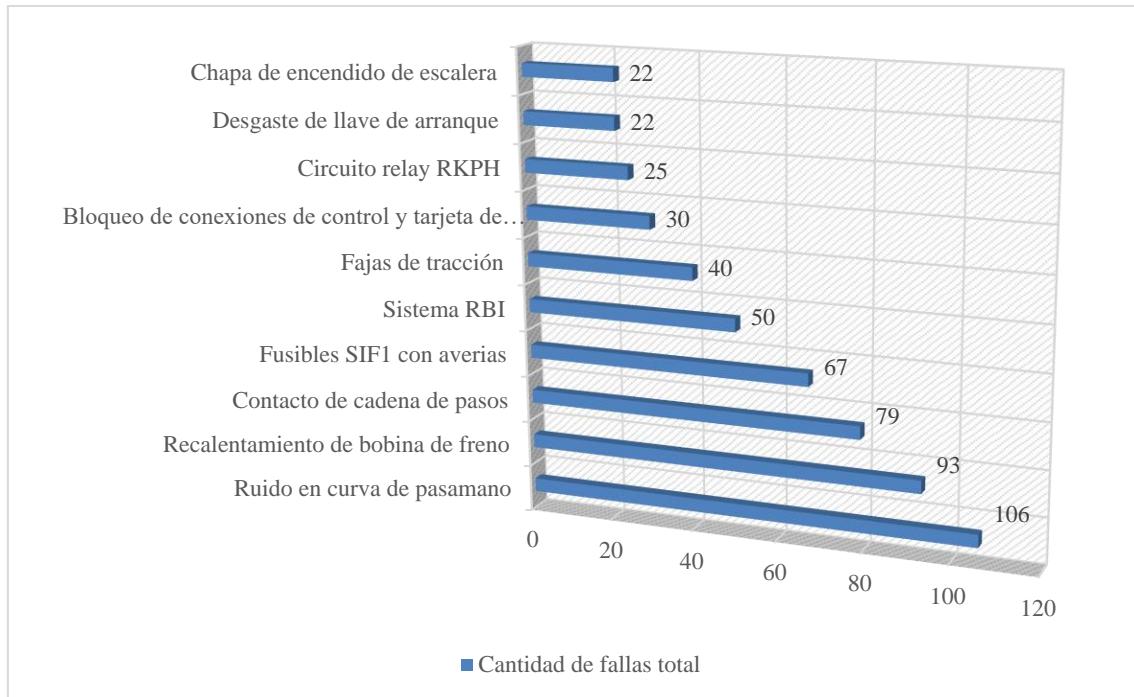


Figura 21 Análisis de frecuencia de fallas final

Fuente: Elaboración propia

La figura anterior muestra de forma gráfica la diferencia entre la cantidad de fallas entre cada tipo a fin de observar cuales han sido las más frecuentes dentro del análisis posterior a la implementación. Para complementar el análisis para la prioridad de riesgo final, se debe efectuar una evaluación en conjunto, considerando la frecuencia, detección y severidad en las fallas. En este sentido, se realizó en análisis del nivel de prioridad de riesgo de cada falla, en tanto que se asignan puntuaciones del 1 al 10 para cada aspecto, siendo 1 el puntaje más bajo y 10 el más alto; dicha información se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 27

Análisis de nivel prioritario de riesgo (NPR) posterior

Tipo de fallas	Frecuencia	Severidad	Detección	NPR
Ruido en curva de pasamano	10	3	3	90
Recalentamiento de bobina de freno	9	3	4	108
Contacto de cadena de pasos	8	3	5	120
Fusibles SIF1 con averías	7	4	4	112
Sistema RBI	6	5	3	90
Fajas de tracción	5	4	2	40
Bloqueo de conexiones de control y tarjeta de maniobra	4	6	3	72
Circuito relay RKPH	3	3	4	36
Desgaste de llave de arranque	2	2	2	8
Chapa de encendido de escalera	1	3	3	9

Elaboración propia

El análisis del nivel de prioridad de riesgo indica que la falla con mayor puntaje fue el contacto de cadena de pasos con una frecuencia es de 8 puntos, la severidad de 3 puntos y la dificultado de detección de 5 puntos, todo ello arroja un valor global de 120 puntos, En segundo lugar, se ubica las fallas en los fusibles SIF1 que obtienen un puntaje total de 112, seguido por el recalentamiento de bobina de freno con 108 puntos y el ruido en la curva de pasamano con 90 puntos. Otras fallas importantes fueron los problemas en el sistema RBI con 90 puntos y las fajas de tracción con 40 puntos. Los factores con menor nivel de riesgo se asocian al bloqueo de conexiones de control y tarjeta de maniobra con 72 puntos, el circuito relay RKPH 36 con puntos, el desgaste de llave de arranque con 8 puntos y finalmente, la chapa de encendido de escalera con 9 puntos

Tabla 28

Valores para el nivel de prioridad de riesgo previo posterior

Puntaje	Descripción
500 – 1000	Alto riesgo de falla
125 – 499	Riesgo de falla medio
1 – 124	Riesgo de falla bajo
0	No existe riesgo de falla

Fuente: Gupta y Sri (2014)

De acuerdo con la información mostrada, las fallas ahora se encuentran en un nivel de riesgo bajo, en tanto que hacia el final del análisis la cantidad fue cada vez menor; adicionalmente, con el sistema de mantenimiento se ha logrado reducir nivel de severidad y la dificultad de detección de cada una.

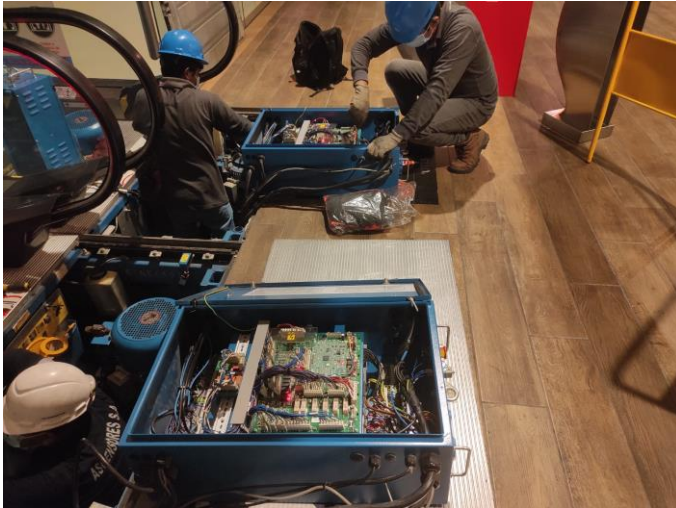


Figura 22 Evidencia de mantenimiento (II)

Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior se observa al personal trabajador realizando labores de mantenimiento a un equipo electrónico; a su vez, resalta que los trabajadores poseen la indumentaria adecuada, pero se encuentran en una posición de trabajo incómoda.

Formato de inspecciones

Seguidamente, se presenta el formato de inspección de mantenimiento, donde se incluyen los puntos de inspección y las respuestas a cada ítem:

Tabla 29

Formato de inspección de mantenimiento

Puntos de Inspección	Sí	No	NA	Observaciones
El cable de conexión de electricidad está en buenas condiciones.				
Se encuentra en buen estado la carcasa protectora de corte.				
El botón de encendido funciona correctamente.				
Cuenta con guía visual para realizar el trabajo de manufactura.				
La placa de la base está en buenas condiciones.				
El cableado de conexión se encuentra en buen estado.				
Estado de limpieza del equipo (libre de polvo, aceite y grasa).				
Estado de engranaje de equipo y/o Maquinaria.				
Restricciones de Uso:				
_____		_____		
Operación de Equipo		Responsable de Taller		

Fuente: Elaboración propia

Los puntos de inspección expuestos en la tabla anterior se encargan de verificar si el cable de conexión de electricidad, la carcasa protectora de corte, el botón de encendido, la placa de la base y otros puntos clave se encuentran en óptimas condiciones. La ficha finaliza con las firmas de los responsables.

Tabla 30

Formato de inspección de mantenimiento

Área:		Auditado por:					
Fecha:	___/___/2020	Miguel					
FORMATO DE AUDITORIA							
Coloque un aspa de acuerdo con lo observado		Puntaje	1	2	3	4	5
1	Equipos e insumos necesarios						
2	Inventario necesario						
3	Riesgos para la seguridad						
4	Los lugares correctos para los insumos están definidos						
5	Los materiales se encuentran en su lugar						
6	Los productos se guardan posteriormente de su utilización						
7	Equipo e insumos se encuentran limpios						
8	Otros problemas de limpieza						
9	La información necesaria es visible						
10	Todas las normas son conocidas por el personal						
11	Se aplica el reglamento en caso de problemas						
12	Existen listas de verificación						
13	Se asignan los documentos al área requerida						
14	Mantener y supervisar el área						
15	Cuantos trabajadores entienden los conceptos de MCC						
16	Se comunica oportunamente los cambios						
17	Se siguen las normas						
18	Se emplea la metodología MCC						
19	Se busca optimizar los recursos						
20	Se busca optimizar el tiempo						
		Puntuación					

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se presenta el formato de auditoría donde se registra una puntuación en la escala del 1 al 5 para cada proposición. Entre los 20 ítems analizados, se encuentran la disponibilidad de inventarios, problemas de limpieza, acceso a la información, cumplimiento de normas, etc. El formato concluye con la suma total de los puntajes obtenidos para cada ítem.

En la tabla anterior, se muestra el programa de supervisión anual, el cual incluye 3 auditorías específicas: auditoría interna en disponibilidad de escaleras, auditoría interna en MCC y auditoría en mejora continua. La auditoría interna en disponibilidad de escaleras se plantea como objetivo evaluar el desarrollo de los procesos para el cálculo de sus MTBF y MTTR, y se llevará a cabo durante los 12 meses de la propuesta con frecuencias mensuales; a su vez, la auditoría interna en MCC se encargará de evaluar la seguridad de los pasos a seguir para el proceso de la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad, para tal evaluación se utilizan varios ítems, entre los que se encuentran las tareas de mantenimiento, análisis de gravedad, análisis de frecuencias, control de calidad, entre otros. Por último, la auditoría en mejora continua posee como objetivo principal evaluar el cumplimiento de las propuestas, para ello se realizan auditorías no programadas para conocer las características del proceso en el día a día.

Escenario posterior a la mejora

Para evaluar el impacto de la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad es necesario comentar sobre los indicadores finales a fin de conocer cuáles han sido los cambios más representativos en las dimensiones del MTTR, MTBF y en la disponibilidad.

Tabla 32

Tiempo medio entre fallas (MTBF) final

Escenario	Mes	MTBF		
		Horas de operación	N° Fallas	MTBF
Pre - post	Mes 1	336.34	4.03	83.39
	Mes 2	344.49	3.40	101.32
	Mes 3	345.32	3.37	102.57
	Mes 4	347.41	3.00	115.80
	Mes 5	350.15	2.30	152.24
	Mes 6	353.00	1.73	203.65

Fuente: Elaboración propia

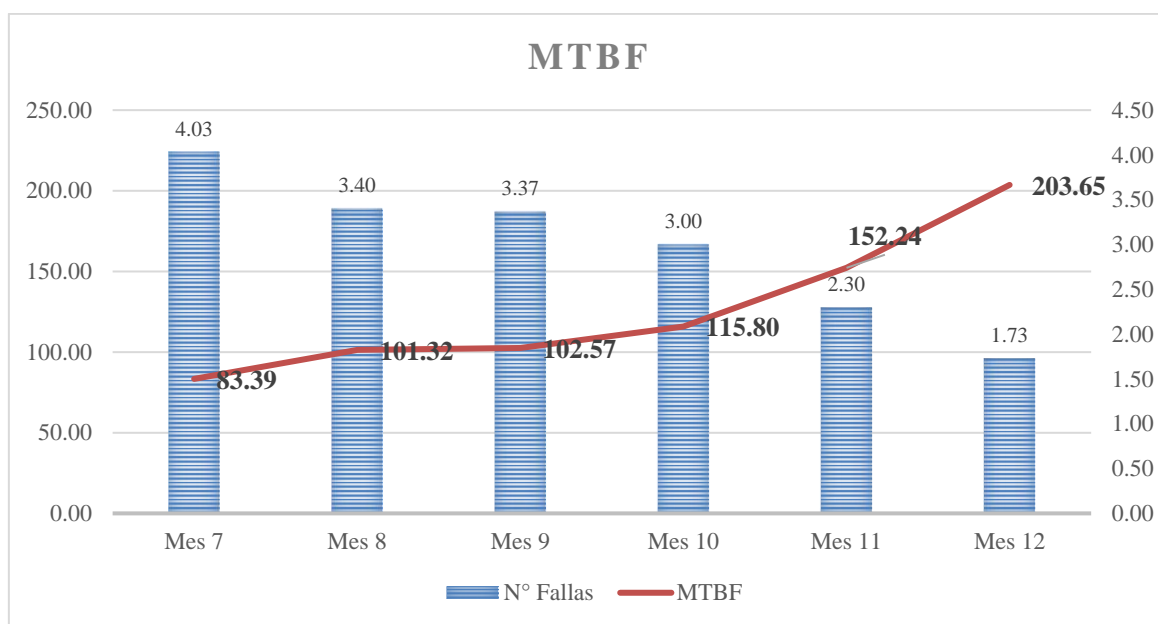


Figura 23 Tiempo medio entre fallas (MTBF) final

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior, se muestra el tiempo medio entre fallas, MTBF, por sus siglas en inglés, donde se observa que dicho margen de tiempo fue incrementándose durante los últimos 6

meses; es decir, las fallas se presentaron cada vez con menos frecuencia. El indicador MTBF incrementó desde 83.39 hasta 203.65. Complementariamente, en la figura mostrada se aprecia el crecimiento del MTBF a partir de una reducción en el número de fallas, valor que se redujo de 4.03 a 1.73.

Tabla 33

Tiempo medio para reparaciones (MTTR) final

Escenario	Mes	MTBF		
		Horas de mant. Correct	Nº Fallas	MTTR
Pre - post	Mes 1	23.66	4.03	5.87
	Mes 2	15.51	3.40	4.56
	Mes 3	14.68	3.37	4.36
	Mes 4	12.59	3.00	4.20
	Mes 5	9.85	2.30	4.28
	Mes 6	7.00	1.73	4.04

Fuente: Elaboración propia

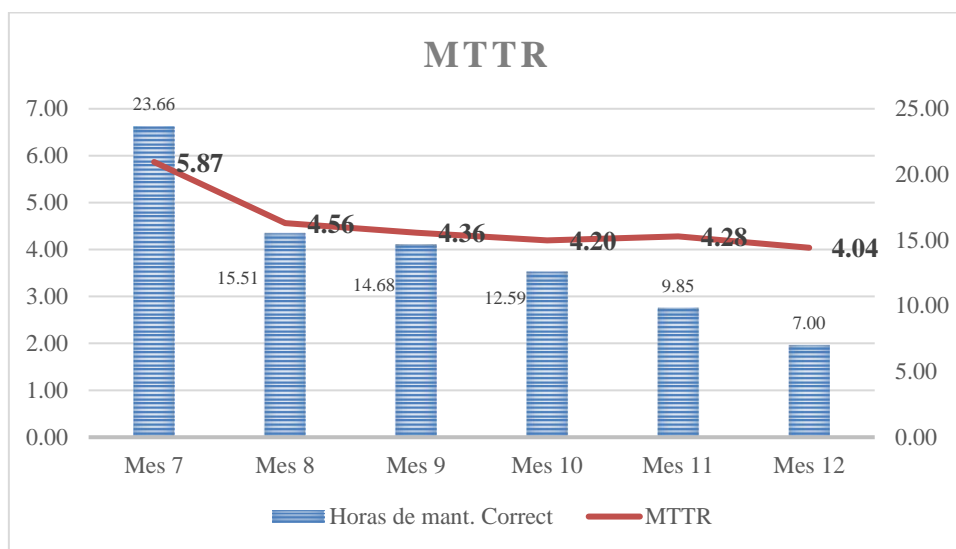


Figura 24 Tiempo medio para reparaciones (MTTR) final

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente, en la tabla expuesta se tienen los resultados del tiempo medio para reparaciones o MTTR durante la etapa posterior a la propuesta, donde se observa una disminución del indicador debido principalmente a la disminución del número de fallas durante los 6 meses analizados. A su vez, en el gráfico de barras mostrado se aprecia que el indicador MTTR pasó de 5.87 a 4.04 desde el mes 7 al mes 12 en análisis.

Tabla 34

Disponibilidad final

Escenario	Mes	MTBF	MTTR	Disponibilidad
Pre - post	Mes 1	83.39	5.87	93.4%
	Mes 2	101.32	4.56	95.7%
	Mes 3	102.57	4.36	95.9%
	Mes 4	115.80	4.20	96.5%
	Mes 5	152.24	4.28	97.3%
	Mes 6	203.65	4.04	98.1%

Fuente: Elaboración propia

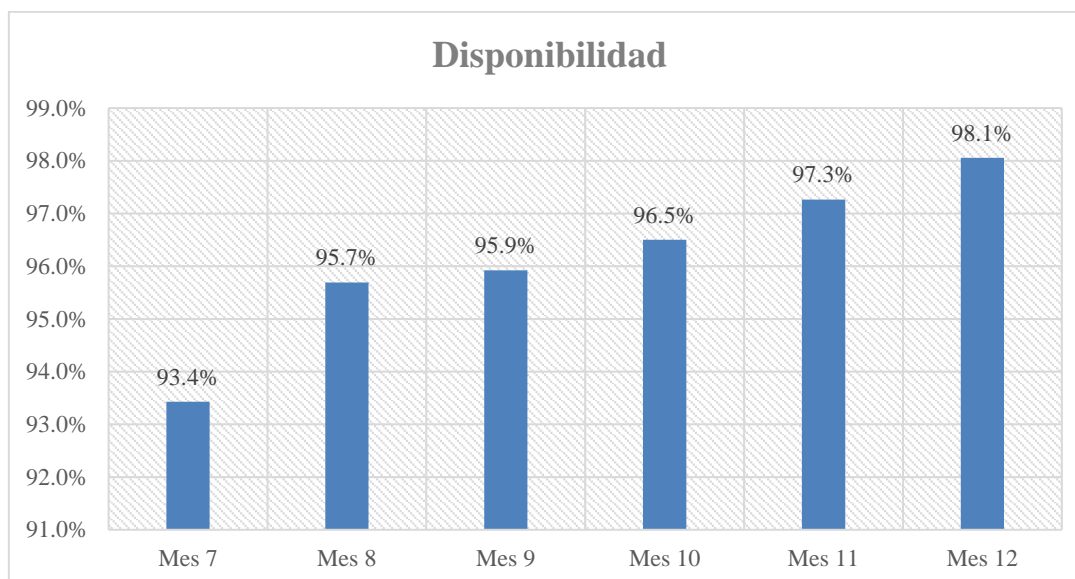


Figura 25 Disponibilidad inicial

Fuente: Elaboración propia

A su vez, en la tabla anterior se expone la evolución del indicador de disponibilidad durante los meses posteriores a la propuesta; dicho valor pasó de 93.4% en el primer mes a 98.1% en el sexto mes. Tal resultado es explicado por la reducción del MTTR y el incremento del MTBF. Asimismo, en el gráfico de barras se aprecia la evolución mensual del indicador de disponibilidad, donde se pasó de 93.4% a 95.7% en el segundo mes de aplicación para luego subir paulatinamente hasta 98.1%.

Beneficio económico

El beneficio económico de las operaciones es un factor clave para el desarrollo de cualquier operación a nivel empresarial; por lo tanto, es preciso mencionar la relación entre los costos y los beneficios por los cambios. En primer lugar, se procede a detallar los gastos para la aplicación en la siguiente tabla

Tabla 35

Cálculo de costos de implementación

Etapa	Elementos	Cantidad	Costo unitario	Total (S/)
Identificación de situación inicial de fallas	Formatos	180	1.2	216
	Asesoría externa por experto	12	250	3000
	Horas - extra por comité de trabajo	36	7.5	270
Gestión del trabajo de mantenimiento	Fichas de mantenimiento	180	1.2	216
	Instructivo de mantenimiento	10	75	750
	Procedimiento de trabajo	1	350	350
	Diseño de flujos	8	85	680
Gestión de la zona de trabajo	Limpieza general externa	1	180	180
	Formatos	30	1.5	45
	Poet - lejía	4	18	72
	Trapos	20	2.5	50
	Escobas	2	12	24
	Detergente	1	25	25
	Señaléticas y rótulos de herramientas	30	1.5	45
Capacitación	Charlas de capacitación	11	75	825
	Material instructivo	10	3.5	35
	Manuales de consulta	4	75	300
	Formatos de control	20	0.5	10
Confiabilidad del proceso	Hojas MCC	180	1.5	270
	Análisis de experto externo	1	180	180
	Formatos de inspección	30	1.5	45
	Horas extra por auditorias de jefe	48	11.67	560
Gestión de resultados	Formatos	180	0.5	90
	Asesoría de gerencia	48	18.75	900
	Horas - extra por comité de trabajo	36	7.5	270
Total				S/ 9408

Fuente: Elaboración propia

El detalle de los costos muestra los elementos necesarios para la implementación de cambios en base al MCC donde fue necesario un diseño de flujos, diagramas y formatos, así como la asesoría y capacitaciones. El total de los gastos asciende a S/ 9,408 soles, en tanto que algunos desembolsos se repiten en varios meses por la continuidad y mantenimiento como

el caso de la gestión del trabajo, la gestión del área y las capacitaciones; por lo que se obtiene un valor global en los 6 meses de S/ 22,738 soles como costos de la implementación; dicho valor debe ser contrastado con los ahorros por la menor reparación de escaleras, en tanto que el costo por reparación fue de S/162.5 soles (dato proporcionado por la empresa). En este sentido, el análisis del flujo de caja se presenta a continuación.

Tabla 36

Flujo de caja de implementación (expresado en soles)

	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Reparaciones Pre		144	145	150	171	164	177
Reparaciones Post		121	102	101	90	68	52
Diferencia		23.0	43.0	49.0	81.0	96.0	125.0
Costo de reparación		162.5	162.5	162.5	162.5	162.5	162.5
Ahorro		3,738.2	6,988.8	7,964.0	13,164.9	15,602.9	20,316.3
Costo de implementación	-6,742.0						
Mantenimiento		-2,666.0	-2,666.0	-2,666.0	-2,666.0	-2,666.0	-2,666.0
Costos totales	-6,742.0	-2,666.0	-2,666.0	-2,666.0	-2,666.0	-2,666.0	-2,666.0
Flujo del periodo	-6,742.0	1,072.2	4,322.8	5,298.0	10,498.9	12,936.9	17,650.3
Flujo acumulado	-6,742.0	-5,669.8	-1,347.0	3,951.0	14,449.9	27,386.8	45,037.0

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se observa que los ahorros por la menor cantidad de reparaciones a lo largo de los 6 meses generan flujos crecientes dado que cada vez es menos necesario reparar las escaleras eléctricas del centro comercial; por otro lado, los costos se dividen en la implementación correspondiente a S/ 6,742 soles (etapa de identificación de fallas, gestión del trabajo y gestión de resultados) y el mantenimiento de las mejoras de S/ 2,666 soles (etapa de gestión de la zona, capacitación y confiabilidad del proceso). A partir de ello, se determina el flujo del periodo y el valor acumulado en los 6 meses posteriores al cambio, el flujo del periodo evidencia que cada vez se logra un mayor ahorro y el flujo acumulado crece de manera constante mostrando recuperación de la inversión ya en el tercer mes. De forma complementaria, el valor acumulado de las ganancias se calculó en S/ 45,037 soles en el sexto mes de análisis, lo cual evidencia la importancia de la metodología para lograr un

beneficio económico además de incrementar la disponibilidad. Un análisis más profundo se presenta a través de los indicadores financieras en la siguiente tabla.

Tabla 37

Análisis financiero de la implementación

Indicadores	Valor
VAN	S/15,342.35
COK	18%
TIR	65.17%
B-C	2.98
Periodo de recupero	2.254

Fuente: Elaboración propia

El análisis financiero mediante indicadores determina una evaluación más a detalle sobre los beneficios de la implementación de cambios. En primer lugar, se ha determinado una tasa del costo de oportunidad del capital (COK) de 18% (dato proporcionado por la gerencia de operaciones del centro comercial); a partir de ello, se procede a contrastar los valores del flujo de caja de cada periodo respecto a dicha tasa de interés, lo cual determina un valor actual neto (VAN) de S/ 15,342 soles, es decir, si se actualizaran los flujos del futuro hacia el presente con la tasa de descuento del costo de oportunidad, el dinero proveniente por la implementación en la actualidad tendría dicho valor. Otro análisis se presenta en la tasa interna de retorno (TIR), la cual indica la rentabilidad de los cambios de 65.17%, la cual al ser mayor que la tasa del costo de oportunidad (COK) indica que la implementación es más rentable que el costo de dicho dinero; por lo que la implementación es beneficiosa. Asimismo, la relación del beneficio – costo (B-C) fue de 2.98, es decir, los ingresos adicionales son casi 3 veces los costos desembolsados por la aplicación de la metodología. Finalmente, el periodo de recupero indica que en 2.25 meses el dinero gastado por la implementación será recuperado y a partir de dicho momento, todo será ganancia.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

Metodología MCC

Tareas de mantenimiento

El primer aspecto para considerar es la evaluación del desempeño para conocer si fue posible implementar los cambios de forma asertiva. Para el análisis de la dimensión de tareas de mantenimiento se realizaron las siguientes tablas:

Tabla 38

Análisis de la evolución de TM

Escenario	Mes	Tareas de mantenimiento (TM)		
		Tareas cumplidas	Total de tareas	TM
Pre - test	Mes 1	12	20	60%
	Mes 2	13	20	65%
	Mes 3	12	20	60%
	Mes 4	13	20	65%
	Mes 5	10	20	50%
	Mes 6	12	20	60%
	Mes 7	15	20	75%
	Mes 8	14	20	70%
Post-test	Mes 9	15	20	75%
	Mes 10	17	20	85%
	Mes 11	18	20	90%
	Mes 12	19	20	95%

Fuente: Elaboración propia

En la tabla mostrada se cuantifican las tareas cumplidas para la etapa pre-test y post-test, siendo que el total de tareas es de 20. En la etapa pre-test, se obtuvo que las tareas cumplidas eran de 10 a 13, representando entre el 50% y el 65% del total. Asimismo, en la etapa post-test se lograron cumplir desde 15 a 19 tareas, representando un total de 70% y 95%.

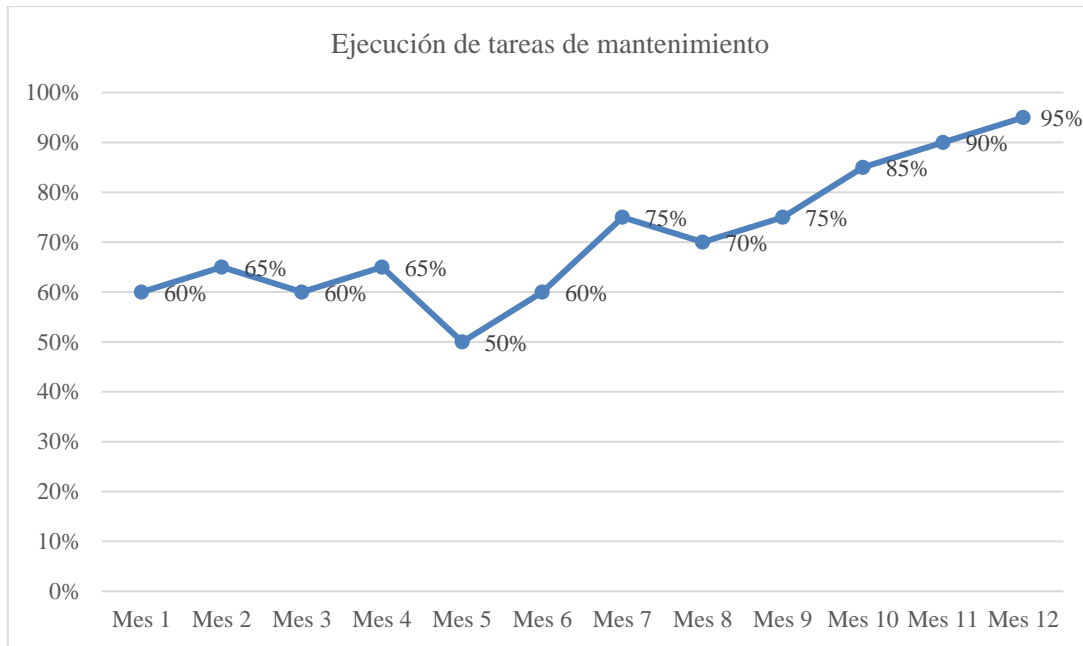


Figura 26 Análisis de la evolución de TM

Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior se comenta sobre la evolución del indicador de las tareas de mantenimiento a lo largo del tiempo, donde se evidencia que dicho indicador se mantuvo relativamente estable durante los 6 primeros meses, los cuales corresponden a la etapa pre-test. Sin embargo, el mayor cumplimiento de las tareas de mantenimiento desde el séptimo mes incrementa el indicador, pasando a 75% y llegando hasta 95% en el último mes.

Confiabilidad del proceso

De forma similar al apartado anterior, se procede con la comparación de los meses a lo largo del escenario previo y posterior a la mejora de la dimensión confiabilidad del proceso, para lo cual se presentan las siguientes tablas:

Tabla 39

Análisis de la evolución del CP

Escenario	Mes	Confiabilidad del proceso (CP)		
		Inspecciones MCC	Inspecciones planificadas	CP
Pre - test	Mes 1	41	60	68%
	Mes 2	39	60	65%
	Mes 3	38	60	63%
	Mes 4	42	60	70%
	Mes 5	39	60	65%
	Mes 6	37	60	62%
Post-test	Mes 7	51	60	85%
	Mes 8	52	60	87%
	Mes 9	53	60	88%
	Mes 10	55	60	92%
	Mes 11	56	60	93%
	Mes 12	59	60	98%

Fuente: Elaboración propia

Tal y como muestra la tabla, durante los meses pre-test, el indicador de confiabilidad del proceso fluctuaba entre el 63% y el 70%, debido a que se realizaban entre 38 y 42 inspecciones MCC de un total de 60. Luego, durante los meses post-test, se lograron realizar entre 51 y 59 inspecciones MCC, alcanzando indicadores entre 87% y 98%.

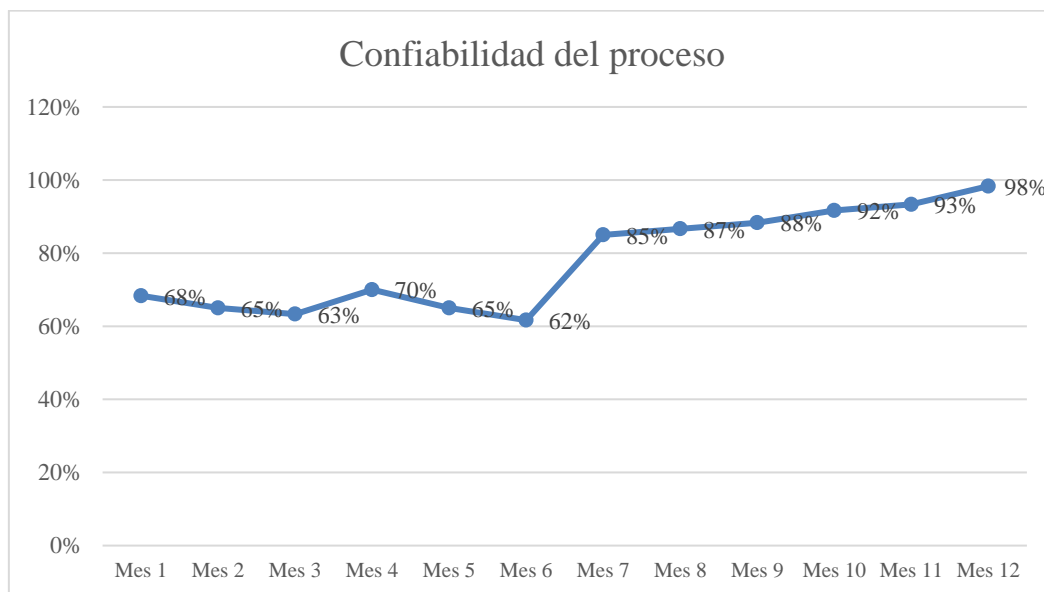


Figura 27 Análisis de la evolución del CP

Fuente: Elaboración propia

De manera complementaria, se muestra la evolución histórica de la confiabilidad del proceso, teniendo que, durante los 6 primeros meses, correspondientes a la etapa pre-test, el valor del indicador se mantuvo relativamente estable; mientras que durante los meses siguientes dicho indicador alcanzó valores por encima del 85%, incrementándose mensualmente hasta lograr el 98% en el último mes.

Prioridad de riesgo NPR

También, se realiza el análisis de la dimensión prioridad de riesgo NPR, para lo cual se utilizaron las siguientes tablas:

Tabla 40

Análisis de la evolución del NPR

Escenario	Mes	Nivel de prioridad de riesgo			NPR
		Severidad	Ocurrencia	Detección	
Pre - test	Mes 1	7	5	8	268.8
	Mes 2	8	5	7	270.7
	Mes 3	8	5	8	320.0
	Mes 4	8	6	9	408.0
	Mes 5	9	5	8	393.6
	Mes 6	9	6	9	477.9
Post-test	Mes 7	7	4	8	225.9
	Mes 8	6	3	7	142.8
	Mes 9	5	3	7	117.8
	Mes 10	5	3	6	90.0
	Mes 11	4	2	5	46.0
	Mes 12	3	2	5	26.0

Fuente: Elaboración propia

En la tabla expuesta se calcula los niveles de prioridad de riesgo para todos los meses analizados; en la etapa pre-test se observa que los valores del NPR se encuentran en el rango de 268.8 y 477.9, de manera que les corresponde un riesgo de falla medio. Seguidamente, durante los meses siguientes el valor NPR se reduce, pasando a 225.9 en el séptimo mes y a 142.8 en el octavo mes; sin embargo, aunque dichos valores sean significativamente menores a los valores pre-test siguen representado un riesgo medio de falla. A su vez, durante los

últimos 4 meses los valores NPR se situaron entre 26 y 117.8 logrando un riesgo de falla bajo.

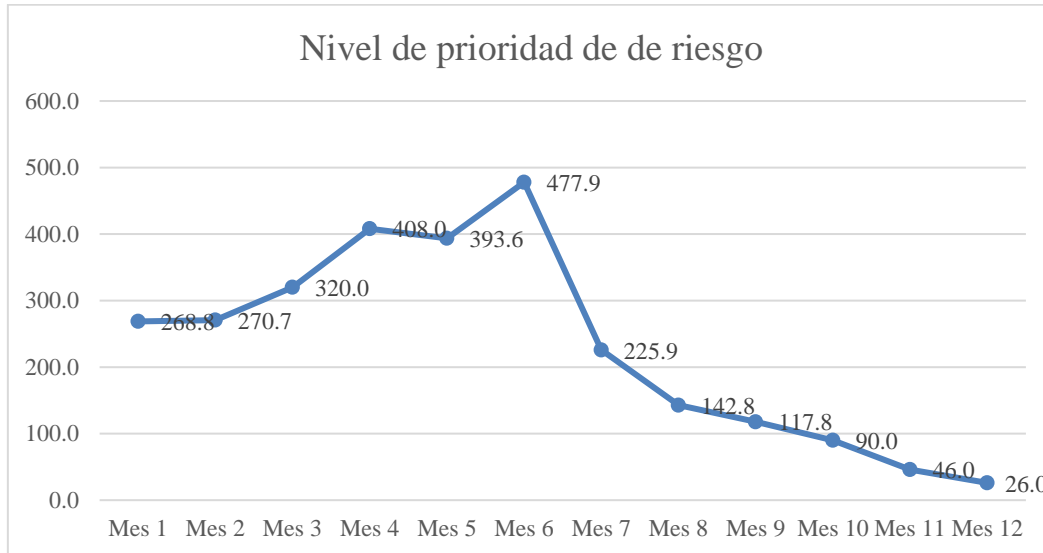


Figura 28 Análisis de la evolución del NPR

Fuente: Elaboración propia

En la figura mostrada se tiene la evolución del nivel de prioridad de riesgo, donde se observa que dicho indicador se encontraba en crecimiento durante la etapa pre-test, alcanzando su valor máximo de 477.9 en el mes 6 y representando un nivel de riesgo de fallas medio. Para el mes 7, se observa que el valor se redujo estrepitosamente a 225.9; sin embargo, dicho valor aún representa un nivel de riesgo de fallas medio. Durante los últimos 4 meses, el valor NPR se redujo hasta lograr un valor de 26, situándose en un nivel de riesgo de fallas bajo.

Disponibilidad

Tiempo medio entre fallas

Para el cálculo de la disponibilidad es necesario evaluar las dimensiones a fin de conocer el desempeño de los equipos a lo largo de la investigación; por lo tanto, se realiza el análisis de la evolución del tiempo medio entre fallas, también conocido por MTBF, por sus siglas en inglés. Las cifras se resumen a continuación:

Tabla 41

Análisis de la evolución del MTBF

Escenario	Mes	Horas de operación	MTBF	
			N° Fallas	MTBF
Pre - test	Mes 1	334.59	4.80	69.71
	Mes 2	332.47	4.83	68.79
	Mes 3	332.68	5.00	66.54
	Mes 4	332.10	5.67	58.61
	Mes 5	325.90	5.47	59.62
	Mes 6	322.44	5.90	54.65
	Mes 7	336.34	4.03	83.39
	Mes 8	344.49	3.40	101.32
Post-test	Mes 9	345.32	3.37	102.57
	Mes 10	347.41	3.00	115.80
	Mes 11	350.15	2.30	152.24
	Mes 12	353.00	1.73	203.65

Fuente: Elaboración propia

En la tabla expuesta se comenta que durante la etapa pre-test el número de fallas fue en aumento, pasando de 4.8 a 5.9, con lo que se obtiene un MTBF entre 54.65 y 69.71; seguidamente, durante los meses post-test, se registró una disminución vertiginosa del número de fallas, con lo cual los valores MTBF incrementaron hasta 203.65; es decir, el tiempo medio entre fallas se amplió debido a la reducción de fallas.

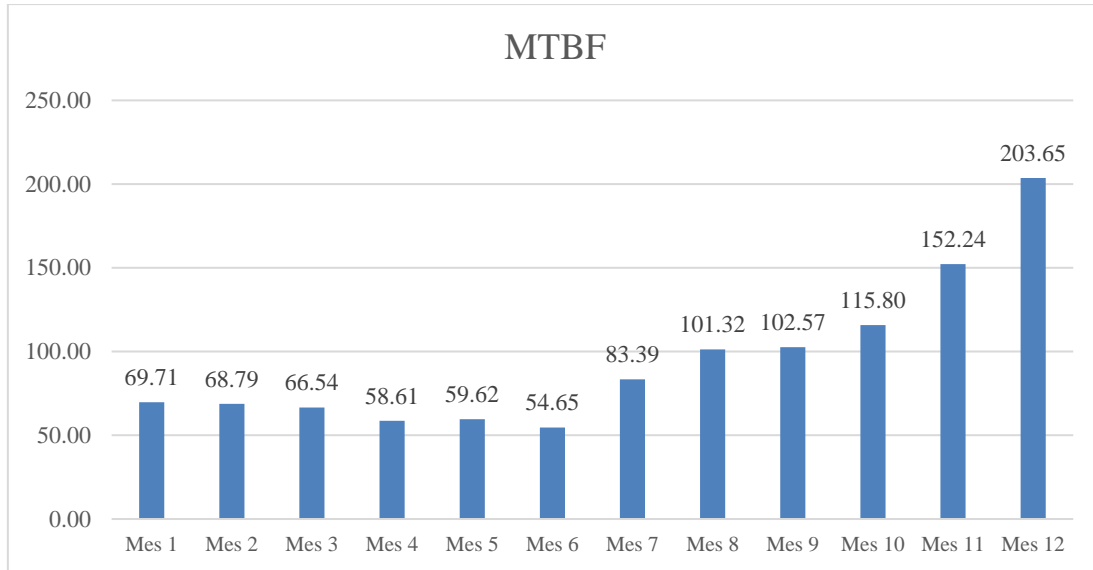


Figura 29 Análisis de la evolución del MTBF

Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior se muestra el gráfico de barras con la evolución de los valores MTBF, donde a partir del séptimo mes se registró un valor de 83.39 como resultado de la reducción de fallas; el crecimiento del MTBF se mantuvo durante los meses siguientes alcanzando un valor de 203.65 para el último mes.

Tiempo medio para reparaciones

Análogamente, se realiza el análisis de la evolución del tiempo medio para reparaciones, MTTR, por sus siglas en ingles. El resumen cuantitativo se presenta a continuación:

Tabla 42

Análisis de la evolución del MTTR

Escenario	Mes	MTTR		
		Horas de Mant. Correcto	N° Fallas	MTTR
Pre - test	Mes 1	25.40	4.80	5.29
	Mes 2	27.53	4.83	5.70
	Mes 3	27.32	5.00	5.46
	Mes 4	27.90	5.67	4.92
	Mes 5	34.10	5.47	6.24
	Mes 6	37.56	5.90	6.37
	Mes 7	23.66	4.03	5.87
Post-test	Mes 8	15.51	3.40	4.56
	Mes 9	14.68	3.37	4.36
	Mes 10	12.59	3.00	4.20
	Mes 11	9.85	2.30	4.28
	Mes 12	7.00	1.73	4.04

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se muestra que el tiempo medio para reparaciones fluctuó entre 4.92 y 6.37 durante la etapa pre-test, siendo que el valor mínimo se registró en el primer mes y el valor máximo en el último mes pre-test. Seguidamente, en el mes 7 se registró una caída de dicho indicador, para consecutivamente seguir en descenso hasta alcanzar el valor de 4.04 en el último mes de la etapa post-test.

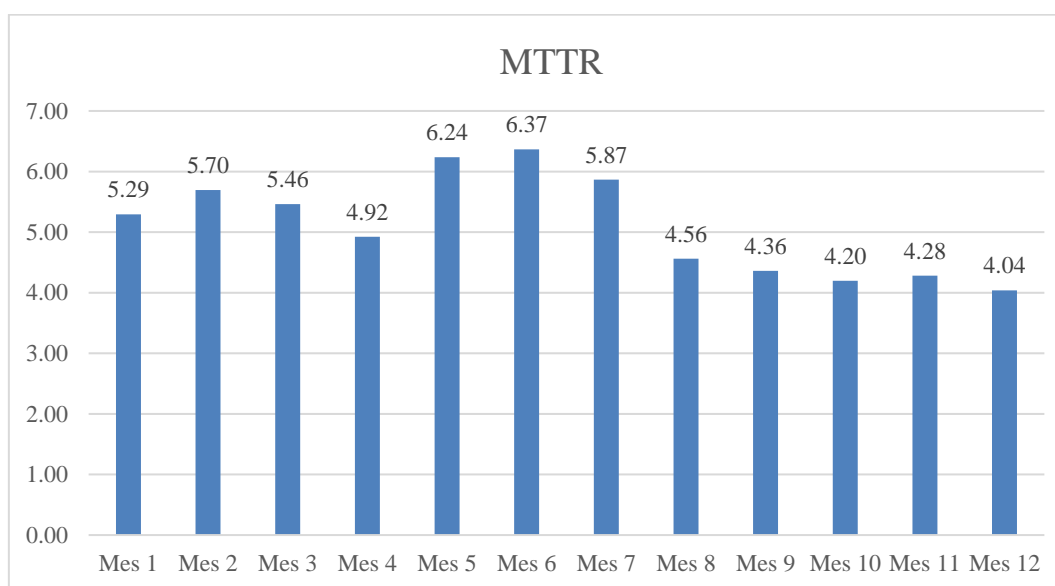


Figura 30 Análisis de la evolución del MTBF

Fuente: Elaboración propia

Complementariamente, en la figura anterior se expone el análisis gráfico de la evolución del MTTR, donde se evidencia el crecimiento del indicador durante la etapa pre-test hasta alcanzar el valor de 6.37. Posteriormente, en la etapa post-test, inicia el descenso del MTTR hasta alcanzar el valor de 4.04 en el último mes de la etapa.

Disponibilidad

Finalmente, como consecuencia de los hallazgos en las dimensiones de MTBF y MTTR se realiza el análisis de la evolución de la disponibilidad a lo largo de los 12 meses mediante la siguiente tabla y figura:

Tabla 43

Análisis de la evolución de la disponibilidad

Escenario	Mes	MTBF	MTTR (Pre)	Disponibilidad (Pre)
Pre - test	Mes 1	69.71	5.29	92.9%
	Mes 2	68.79	5.70	92.4%
	Mes 3	66.54	5.46	92.4%
	Mes 4	58.61	4.92	92.3%
	Mes 5	59.62	6.24	90.5%
	Mes 6	54.65	6.37	89.6%
Post-test	Mes 7	83.39	5.87	93.4%
	Mes 8	101.32	4.56	95.7%
	Mes 9	102.57	4.36	95.9%
	Mes 10	115.80	4.20	96.5%
	Mes 11	152.24	4.28	97.3%
	Mes 12	203.65	4.04	98.1%

Fuente: Elaboración propia

La tabla mostrada evidencia que el nivel de disponibilidad para el mes 1 fue de 92.9%, permaneciendo relativamente estable hasta el mes 6, donde culmina la etapa pre-test. Seguidamente, en el primer mes de la etapa post-test se calcula una disponibilidad de 93.4%, valor que fue aumentando paulatinamente durante los siguientes meses hasta alcanzar el 98.1%.

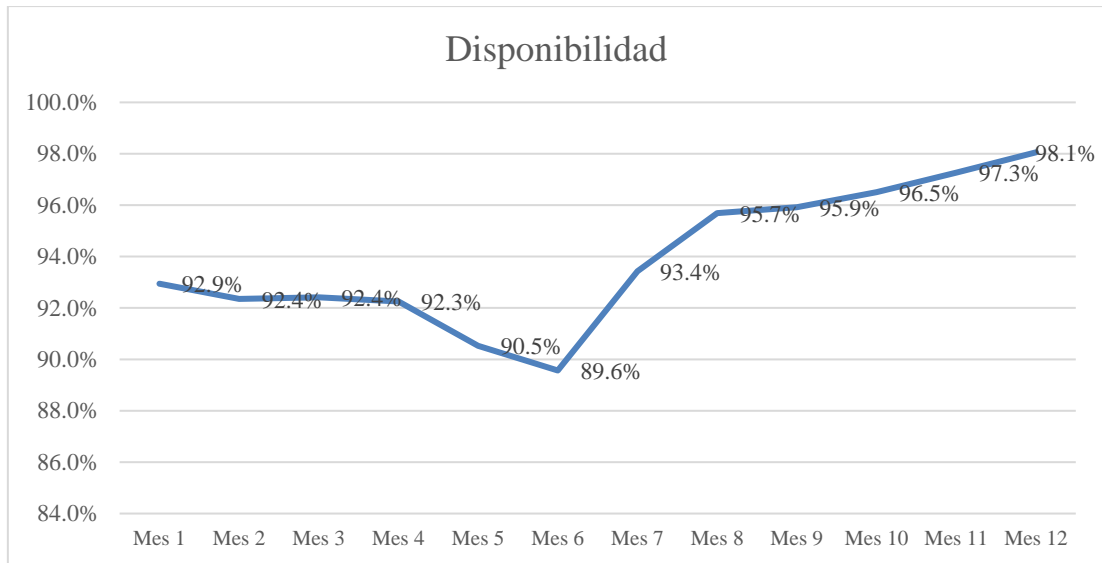


Figura 31 Análisis de la evolución de disponibilidad

Fuente: Elaboración propia

A modo de complemento se muestra la evolución del nivel de disponibilidad, donde se evidencia una caída del indicador durante la etapa de pre-test, alcanzando su valor mínimo de 89.6% en el mes 6. Seguidamente, se observa que el nivel de disponibilidad pasó a 93.4% en el mes 7 y luego a 95.7% en el mes 8; el incremento se mantuvo hasta el último mes de la etapa post-test, logrando un valor de 98.1%.

Comparación de escenarios

El presente apartado es de gran importancia dado que permite complementar el análisis de los cambios por la implementación de cambios, es preciso comentar sobre la variación de los indicadores a lo largo de los escenarios previo y posterior a la mejora en base a la metodología MCC.

Metodología MCC

En primer término, se procede a mencionar las diferencias del desempeño previo y posterior sobre dicha metodología y sus dimensiones, a saber, las tareas de mantenimiento (TM), la confiabilidad del proceso (CP) y el nivel de prioridad de riesgo (NPR), para lo cual se muestra la siguiente figura.

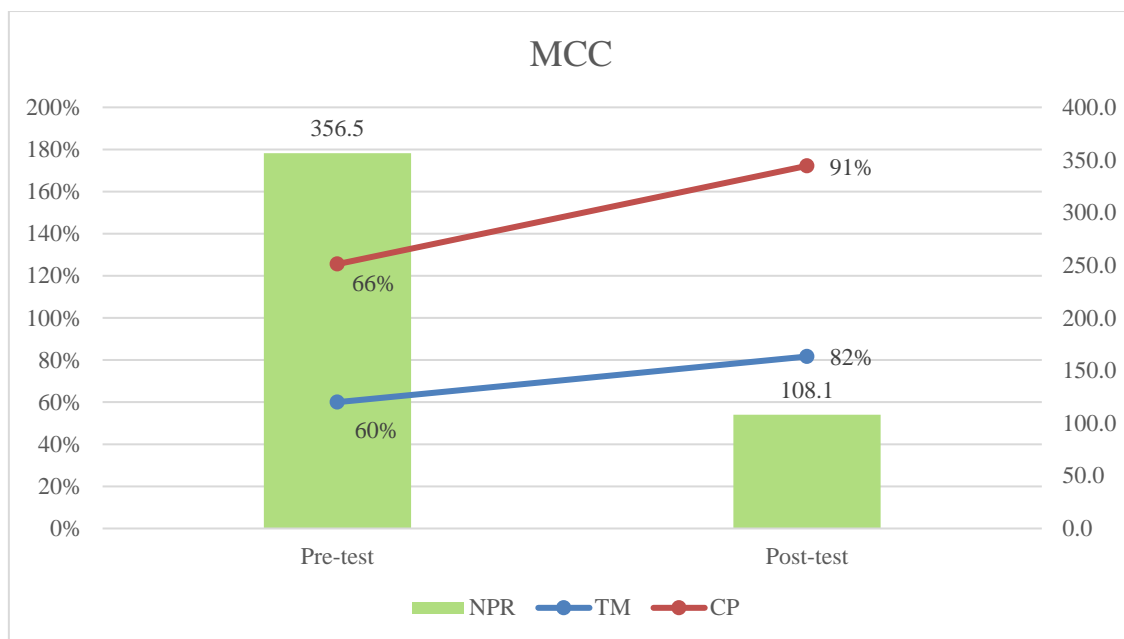


Figura 32 Análisis comparativo por escenarios de la metodología MCC

Fuente: Elaboración propia

Se observa un gran cambio en las dimensiones de la metodología MCC en los escenarios previo y posterior a la mejora, en tanto que para el indicador de las tareas de mantenimiento, se pasó de un nivel de cumplimiento de 60% en el pre-test al 82% en el post-test; asimismo, la confiabilidad del proceso obtuvo un cambio de 66% a 91% previo y posterior a la

implementación, respectivamente y finalmente el nivel de prioridad de riesgo disminuye de 256.5 a 108.1, lo cual indica un riesgo bajo de ocurrencia de fallas.

Disponibilidad

De forma similar al caso anterior, se procede con la comparación de promedios sobre las dimensiones que explican la disponibilidad, es decir, el tiempo medio entre fallas y el tiempo medio entre reparaciones; para ello se presenta la figura a continuación:

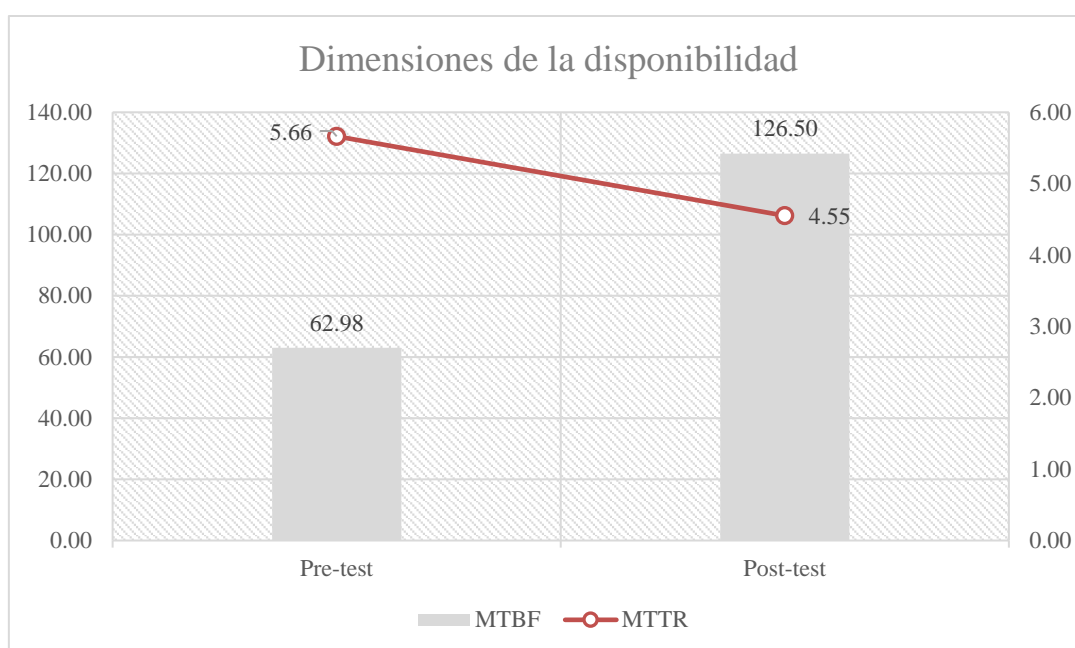


Figura 33 Análisis comparativo por escenarios de las dimensiones de la disponibilidad

Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior se muestra el cambio de escenarios para las dimensiones; en primer lugar, el tiempo medio entre fallas (MTBF) se incrementa de 62.98 horas en promedio para la situación previa a la mejora hasta las 126.5 horas, lo cual indica la gran efectividad de la metodología MCC. Por otro lado, el tiempo medio para las reparaciones (MTTR) se logra reducir de forma considerable de 5.66 a 4.55 en promedio para el pre y post test, respectivamente, es decir, se ha disminuido en más de una hora el tiempo necesario para solucionar las reparaciones de los equipos.

A partir de los datos mencionados anteriormente, es posible efectuar un análisis comparativo de la disponibilidad en ambos escenarios, lo cual se muestra en la siguiente figura.

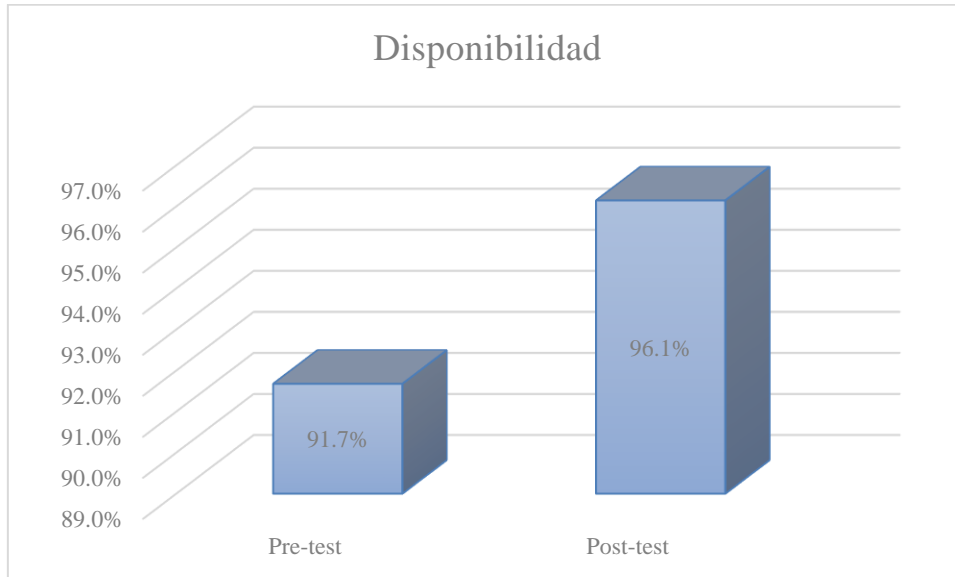


Figura 34 Análisis comparativo por escenarios de la disponibilidad

Fuente: Elaboración propia

La figura anterior evidencia el importante cambio positivo de la disponibilidad a través de la comparación del pre-test y post test, donde se obtuvieron indicadores de 91.7% y 96.1%, respectivamente. Dicha mejora se debe a la implementación de la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad que permite gestionar de forma adecuada las labores de mantenimiento de equipos para alargar su vida útil y reducir la presencia de fallas durante las operaciones.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMEDADIONES

5.1. Conclusiones

En la presente sección se presentan las conclusiones luego de haber desarrollado la experiencia y competencias profesionales en la empresa de análisis, en tanto que los alcances se encuentran alineados en los objetivos planteados al inicio de la investigación; a partir de ello, se menciona lo siguiente.

En primer lugar, se concluye que se evaluaron cuáles fueron las fallas funcionales que influyen sobre la disponibilidad operativa de las escaleras eléctricas en el centro comercial, ello se expresó en el análisis prioritario de riesgo donde se identificaron problemas importantes como el ruido en la curva del pasamano, el recalentamiento de bobina de freno, el contacto de cadena de pasos y la presencia de fusibles SIF1 con averías, entre los más importantes. Dicho lo anterior, fue necesaria la planificación y organización de las actividades a cargo del investigador, puesto que fue necesario gestionar el tiempo, los plazos y dar la importancia debida a cada función, actividad y componente asociado a una falla funcional.

En segundo lugar, se concluye que fue posible aplicar la metodología MCC con efectividad en las actividades de mantenimiento del centro comercial, lo cual se sustenta en las etapas de identificación de la situación inicial de fallas, la gestión del trabajo de mantenimiento, la gestión de la zona de trabajo, las capacitaciones, la mejora de la confiabilidad del proceso y la gestión de resultados. En esta fase de actividades fue necesario contar con las habilidades comunicativas por parte del investigador, así como la competencia de análisis de datos para lograr extraer de ellos todo lo que se considere más relevante en cada circunstancia.

En tercer lugar, se concluye que se evaluó de qué manera la metodología MCC incrementó la disponibilidad operativa a través de sus dimensiones del tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo medio para reparaciones (MTTR). En el caso de la comparación de escenarios del MTBF se pasó de un valor inicial de 62.98 a 126.5; por otro lado, el MTTR se redujo de forma importante desde 5.66 a 4.55 horas, lo cual indica una mayor presencia de los equipos en las labores operativas. De forma complementaria, el análisis económico

determina una rentabilidad a través del VAN de S/ 15,342 soles y la tasa interna de retorno (TIR) de 65.17%.

Finalmente, se concluye que la metodología MCC incrementa la disponibilidad operativa de escaleras eléctricas en el centro comercial, lo cual se basa en la comparación de escenarios que indica un incremento de 91.7% en el periodo previo a la implementación hasta el 96.1% en el promedio del escenario posterior a los cambios. En ese sentido, se logra evidenciar una de las competencias profesionales más importantes para toda compañía; la oportuna resolución de conflictos, puesto que es fundamental durante la toma de decisiones intervenir en situaciones difíciles, aspecto que es valorado especialmente en una situación problemática.

5.2. Lecciones aprendidas

Con relación a la investigación:

Hoy en día existe un reducido número de publicaciones, tesis, artículos de revistas indexadas a nivel local o nacional que aborden el mantenimiento en equipos de centros comerciales; como escaleras eléctricas, empleando una metodología de solución práctica, innovadora y accesible, como la planteada en esta investigación.

Con relación a la implementación de la metodología MCC:

La implementación de la metodología planteada tomó más tiempo que los esperados inicialmente, debido a los procedimientos administrativos que forman parte del centro comercial o entidad privada encargada.

La implementación de la metodología planteada precisó de la colaboración y participación de personal experto y un equipo de encargados liderados por el investigador, debido a que todo mejora a realizarse requiere de un grupo humano enfocado al logro de objetivos para que la actividades a realizarse sean exitosas.

Las capacitaciones o inducciones realizadas por parte del investigador permitieron que el uso de registros de mantenimiento sea de uso extensivo y frecuente por parte de los operarios de mantenimiento, personal a cargo y técnicos responsables, para beneficio del área de mantenimiento y la empresa en general.

5.3. Recomendaciones

En este último apartado se comentan las sugerencias a partir de la experiencia profesional y luego de haber desarrollado los cambios, en tanto que todo aspecto es perfectible y se puede lograr una mejora continua a lo largo del tiempo; en este sentido, se recomienda lo siguiente.

En primer término, se recomienda continuar con el sistema de auditorias y supervisiones propuesto a fin de identificar nuevas fallas que puedan ocurrir en las operaciones de las escales y de dicha forma será posible efectuar otro análisis de prioridad de riesgo.

En segundo lugar, se recomienda aplicar la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad en otros equipos de la empresa que presenten averías, dado que se ha observado quejas por parte de los clientes sobre el funcionamiento de ascensores.

En tercer lugar, se recomienda que la gerencia diseñe un plan de renovación de escaleras dado que algunas presentan desgaste producto del tiempo y el maltrato que algunos usuarios del centro comercial realizan de forma malintencionada.

Por último, se recomienda implementar un sistema de capacitaciones a los trabajadores sobre otras metodologías de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos dentro del centro comercial.

REFERENCIAS

- Alvarez, R. (2018). *Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para mejorar la disponibilidad de los motores CATERPILLAR 3516 de los grupos electrógenos de una refinería de petróleo – Iquitos, Perú*. Callao, Perú: Universidad Nacional del Callao.
- Arce, G., & Moreno, G. (2020). *Implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para incrementar la disponibilidad de los equipos de aire acondicionado de la empresa COOL LIDER TECH S.A.C*. Lima, Perú: Universidad Privada del Norte.
- Braglia, M., Castellano, D., & Gallo, M. (2019). A novel operational approach to equipment maintenance: TPM and RCM jointly at work. *Journal of Quality in Maintenance Engineering Vol. 25 N° 4*, 612-634; <https://doi.org/10.1108/JQME-05-2016-0018>.
- Caballero, C., & Clavero, J. (2016). *UF1466 - Sistemas de almacenamiento*. Madrid, España: Ediciones Paraninfo.
- Campos, O., Tolentino, G., Toledo, M., & Tolentino, R. (2018). 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.
- Cárcel, F. (2014). *La gestión del conocimiento en la ingeniería de mantenimiento industrial*. Valencia, España: OmniaScience.
- Casas, L., & Barona, J. (2019). *El funcionamiento de las edificaciones: Administración y mantenimiento*. Cali, Colombia: Programa Editorial de la Universidad del Valle.
- Chaquina, R. (2018). *Análisis de la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de la central de generación de CONACO 19 del bloque 61, PETROAMAZONAS EP*. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politecnica de Chimborazo.
- Consuegra, O. (2015). Metodología AMFE como herramienta de gestión de riesgo en un hospital universitario. *Cuadernos Latinoamericanos de Administración*, 37-49.
- Diestra, J., Esquiviel, L., & Guevara, R. (2017). Programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para optimizar la disponibilidad operacional de la maquina con mayor criticidad. *Rev. Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación Vol 4 N° 1*, 1-10.

- 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; <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107550>.
- Galeano, E., & Pérez, H. (2017). *Análisis de modo y efecto de falla en el proceso de extrusión- soplado en placa S.A.* Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- García, I. (2016). *Anatomía de sistemas: Su análisis y su apoyo.* Madrid, España: Diaz de Santos.
- González, F. (2015). *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado.* Madrid, España: Fundación CONFEMETAL.
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.* Mexico: Mc Graw Hill.
- Iglesias, J. (2015). *Mantenimiento correctivo de electrodomésticos de gama industrial - UF2244.* Málaga, España: Editorial ELEARNING. S.L. .
- Janoudi, F. (2015). *Reparación de equipos mecánicos y eléctricos de plantas de tratamiento de agua y plantas depuradoras.* Málaga, España: Editorial ELEARNING S.L.
- Jiménez, F. (2015). *Mantenimiento preventivo de sistemas de automatización industrial. ELEM0311.* Malaga, España: IC Editorial.
- Karajagikar, J., & Sonawane, B. (2020). Reliability-Centered Maintenance (RCM) Approach for a Process Industry: Case Study. *Conference paper: Optimization Methods in Engineering*, 429-442.
- Lombardo, C. (2016). *Plan de mejoramiento de disponibilidad en planta de refinería de cobre, división CODELCO Norte.* Valparaiso, Chile: Universidad Técnica Federico Santa María.
- Medialdea, J., & Corrales, B. (2017). *Operaciones auxiliares de mantenimiento de instalaciones maquinaria, equipos y herramientas de floristería.* Málaga, España: Editorial ELEARNING S.L. .
- Mendoza, C. (2016). *Sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para motores eléctricos de inducción.* La Paz, Bolivia: Universidad Mayor de San Andres.

- Montalvo, A., Aldana, R., López, A., Álvarez, E., Aldana, F., & Rivera, Y. (2018). Mantenimiento centrado en la confiabilidad para motocompresores. *Revista Ambiental Agua, Aire, Suelo Vol 9 N° 1*, 1-7.
- Moreira, A., Silva, G., Correia, I., Pereira, T., Ferreira, P., & Almeida, F. (2018). Cost reduction and quality improvements in the printing industry. *rocedia Manufacturing Vol 17*, 623-630.
- Narvaez, J., & Palza, A. (2020). *Aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para mejorar los indicadores de la flota de camiones eléctricos Komatsu 730E de una empresa minera de La Libertad*. Trujillo, Perú: Universidad César Vallejo.
- Ñaupas, H., Valdivia, M., Palacios, J., & Romero, E. (2018). *Metodología de la investigación cuantitativa - cualitativa y redacción de tesis*. Bogotá, Colombia : Ediciones de la U.
- Parra, C., & Crespo, A. (2012). *Ingeniería del Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos*. Madrid, España: Editorial Ingeman.
- 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.
- Proaño, D., & Gisbert, V. y. (2017). Metodología para elaborar un plan de mejora continua. *3C Empresa* , 50-56; ISSN: 2254 – 3376.
- Quiñones, E. (2016). Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad basado en el análisis causa raíz para aumentar la disponibilidad de los motores eléctricos jaula ardilla de la empresa Alicorp S.A.A. *Innovación en Ingeniería 2 (1)*, 1-13.
- Riswanto, F., Ruki, T., Fasya, T., Osi, A., Permana, S., & Isa, A. (2019). Maintenance cost optimization on reliability centered maintenance based on failure rate on flash gas compression system. *AIP Conference Proceedings Vol 2088*, 1-8; <https://doi.org/10.1063/1.5095295>.
- Salazar, L. (2019). *Mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de equipos críticos del proceso de producción de hielo en la empresa Lesser S.A.C.*. Chimbote, Perú: Universidad César Vallejo.
- Sana, M., Saleem, U., Farooq, M., Qamar, A., Mehmood, M., & Zafar, S. (2018). Identification of Failure Modes on Electrostatic Chuck through Reliability Centered

- Maintenance: A Case Study. *A. Physical and Computational Sciences Vol 55 N° 2*, 21-32; <http://www.ppaspk.org/index.php/PPASA/article/view/5>.
- Sánchez, M. (2015). *Manejo y mantenimiento de equipos de aplicación de fitosanitarios*. Málaga, España: Editorial ELEARNING S.L.
- Silvestre, I., & Huamán, C. (2019). *Pasos para elaborar la investigación y redacción de la tesis universitaria*. Lima, Perú: Editorial San Marcos.
- Socconini, L. (2019). *Lean Manufacturing: paso a paso*. Barcelona: Marge Books.
- Stamatis, D. (2018). *Risk Management Using Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*. Wisconsin, Estados Unidos: ASQ Quality Press.
- Suryono, M., & Rosyidi, C. (2018). Reliability Centred Maintenance (RCM) Analysis of Laser Machine in Filling Lithos at PT X. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Vol 39*, 1-6; doi:10.1088/1757-899X/319/1/012020.
- Valderrama, S. (2019). *Pasos para Elaborar Proyectos de investigación Científica*. Lima: Editorial San Marcos.
- Valentín, V. (2014). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para mejorar la disponibilidad mecánica de las excavadoras CAT 336DL en el proyecto Toromocho*. Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- 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. *Iberian Journal of Information Systems and Technologies Vol 37*, 41-51.
- Vishnu, C., & Regikumar, V. (2016). Reliability Based Maintenance Strategy Selection in Process Plants: A Case Study. *Procedia Technology Vol 25*, 1080-1087; <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.08.211>.
- Ypanaqué, S., Chucuya, R., & Esquivel, L. (2017). Mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad y confiabilidad de una grúa de 50 toneladas. *INGnosis 3 (2)*, 309-322.
- Zegarra, M. (2016). Indicadores para la gestión del mantenimiento de equipos pesados. *Ciencia y Desarrollo Vol 19 N° 1*, 25-37; : <http://dx.doi.org/10.21503/CienciayDesarrollo.2016.v19i1.02>.

ANEXOS



