

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO  
EN LA CONFIABILIDAD PARA MEJORAR LA EFICIENCIA  
GENERAL DE LOS EQUIPOS EN LA EMPRESA AC-DC  
SERVICIOS ELÉCTRICOS INDUSTRIALES E.I.R.L.”

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título  
profesional de:

INGENIERO INDUSTRIAL

## **Autores:**

Victor Alexis Marin Perfecto  
Edward Robert Vasquez Suazo

## Asesor:

Ing. Julio Douglas Vergara Trujillo  
<https://orcid.org/0000-0003-1001-5671>

Lima - Perú

## **DEDICATORIA**

Dedicado de manera especial a nuestros padres  
por la manera como nos formó como personas,  
quienes se encargaron de sembrar valores y actitudes positivas  
para así afrontar retos y desafíos en la vida.

## AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por brindarnos sabiduría  
y entendimiento para así desarrollar este proyecto.

Al Ing. Julio Douglas Vergara Trujillo, nuestro asesor  
quien reforzó con sus conocimientos, recomendó y nos motivó  
para la culminación exitoso de este proyecto.

## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>9</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>	<b>11</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>19</b>
<b>CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA.....</b>	<b>434</b>
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS .....</b>	<b>580</b>
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>1079</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>1102</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.7</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fases de la implementación de un plan a partir del mantenimiento centrado en la confiabilidad.....	29
Tabla 2. Fases de la implementación de un plan a partir del mantenimiento centrado en la confiabilidad.....	45
Tabla 3. Fases de la implementación de un plan a partir del mantenimiento centrado en la confiabilidad.....	46
Tabla 4. Frecuencia de ocurrencia de los principales los factores que inciden en los bajos niveles de eficiencia en la gestión de mantenimiento de la empresa. ....	49
Tabla 5. Maquinarias y equipos de la empresa. ....	58
Tabla 6. Indicadores de mantenimiento de la máquina de soldar Lincoln Electric - año 2020 .....	62
Tabla 7. Indicadores de mantenimiento de la compresora de aire Gardner Denver - año 2020 .....	62
Tabla 8. Indicadores de mantenimiento del banco de prueba con carga eléctrica Avtron - año 2020.....	63
Tabla 9. Indicadores de mantenimiento del horno eléctrico - año 2020 .....	63
Tabla 10. Indicadores de mantenimiento de los equipos del área de producción de la empresa. ....	64
Tabla 11. Indicadores de disponibilidad OEE de los equipos del área de producción de la empresa.....	65
Tabla 12. Indicadores de rendimiento para la eficiencia general de equipos de la empresa – año 2020. ....	66

Tabla 13. Indicadores de calidad para la eficiencia general de equipos de la empresa – año 2020.....	67
Tabla 14. Cálculo de la eficiencia general de los equipos de la empresa – año 2020.....	67
Tabla 15. Codificación de los equipos críticos de la empresa AC-DC Servicios Eléctricos Industriales E.I.R.L. ....	68
Tabla 16. Sistemas y subsistemas del Banco de prueba con carga eléctrica Avtron .....	68
Tabla 17. Sistemas y subsistemas del Horno eléctrico.....	69
Tabla 18. Ficha técnica del Banco de prueba con carga eléctrica Avtron. ....	70
Tabla 19. Ficha técnica del Horno eléctrico.....	71
Tabla 20. Lista de partes del Banco de prueba con carga eléctrica Avtron. ....	72
Tabla 21. Lista de partes del Horno eléctrico.....	73
Tabla 22. Listado de funciones de los sistemas y los sub-sistemas del Banco de prueba con carga eléctrica Avtron. ....	74
Tabla 23. Listado de funciones de los sistemas y los sub-sistemas del Horno eléctrico. ...	75
Tabla 24. Listado de fallas de los sistemas del Banco de prueba con carga eléctrica Avtron - año 2020.....	76
Tabla 25. Listado de fallas de los sistemas del Horno eléctrico - año 2020 .....	77
Tabla 26. Listado de causas de fallas de los sistemas del Banco de prueba con carga eléctrica Avtron - año 2020 .....	78
Tabla 27. Listado de causas de fallas de los sistemas del Horno eléctrico- año 2020 .....	79
Tabla 28. Listado de efectos de fallas de los sistemas del Banco de prueba con carga eléctrica Avtron.....	80
Tabla 29. Listado de efecto de falla de los sistemas del Horno eléctrico- año 2020 .....	81
Tabla 30. Criterios de evaluación de la gravedad de falla (S) para la realización del AMEF. ....	82

Tabla 31. Criterios de evaluación de Probabilidad de falla (O) para efectuar el AMEF. ...	82
Tabla 32. Criterios de evaluación de la Detectabilidad de falla (D) para la realización del AMEF.....	83
Tabla 33. Evaluación de Gravedad (S), Frecuencia (O) y Detectabilidad (D) y controles actuales de las fallas en el Banco de prueba con carga eléctrica Avtron. ....	84
Tabla 34. Evaluación de Gravedad (S), Frecuencia (O) y Detectabilidad (D) y controles actuales de las fallas en el Horno eléctrico. ....	85
Tabla 35. Probabilidad de riesgo de las fallas en el Banco de prueba con carga eléctrica Avtron.....	86
Tabla 36. Probabilidad de riesgo de las fallas en el Horno eléctrico .....	86
Tabla 37. Acciones recomendadas para disminuir el riesgo de las fallas en el Banco de prueba con carga eléctrica Avtron.....	87
Tabla 38. Acciones recomendadas para disminuir el riesgo de las fallas en el Horno Eléctrico. ....	88
Tabla 39. Plan de mantenimiento preventivo para disminuir el riesgo de las fallas en el Banco de prueba con carga eléctrica Avtron. ....	89
Tabla 40. Plan de mantenimiento preventivo para disminuir el riesgo de las fallas en el Horno eléctrico. ....	91
Tabla 41. Probabilidad de riesgo de las fallas luego de las acciones correctivas en el Banco de prueba con carga eléctrica Avtron .....	92
Tabla 42. Probabilidad de riesgo de las fallas luego de las acciones correctivas en el Horno eléctrico .....	93
Tabla 43. Indicadores de mantenimiento de la máquina de soldar Lincoln Electric - año 2021 .....	94

Tabla 44. Indicadores de mantenimiento de la compresora de aire Gardner Denver - año 2021 .....	95
Tabla 45. Indicadores de mantenimiento del banco de prueba con carga eléctrica Avtron - año 2021 (equipo intervenido en el plan de mejoras). .....	95
Tabla 46. Indicadores de mantenimiento del horno eléctrico - año 2021 (equipo intervenido en el plan de mejoras).....	96
Tabla 47. Indicadores de mantenimiento de los equipos del área de producción de la empresa posterior a la implementación .....	96
Tabla 48. Variaciones en los indicadores de mantenimiento de los equipos del área de producción de la empresa antes y después de la implementación.....	97
Tabla 49. Indicadores de disponibilidad OEE posteriores de los equipos del área de producción de la empresa – año 2021. ....	98
Tabla 50. Indicadores de rendimiento para la eficiencia general de equipos de la empresa – año 2021. ....	99
Tabla 51. Indicadores de calidad para la eficiencia general de equipos de la empresa – año 2021.....	100
Tabla 52. Cálculo de la eficiencia general de los equipos de la empresa – año 2021.....	100
Tabla 53. Variaciones en el indicador de eficiencia general de equipos (OEE) del área de producción de la empresa antes y después de la implementación.....	101
Tabla 54. Determinación del flujo de efectivo proyectado sin implementación.....	103
Tabla 55. Determinación del flujo de efectivo proyectado sin implementación.....	104
Tabla 56. Determinación del flujo incremental para obtener el costo y beneficio de la propuesta .....	105
Tabla 57. Determinación del tiempo de retorno de la inversión prevista para la implementación .....	106



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Geolocalización de la empresa .....	14
Figura 2. Servicio de mantenimiento y reparación de torres de iluminación.....	15
Figura 3. Servicio de mantenimiento y reparación de torres de iluminación.....	15
Figura 4. Servicio de mantenimiento y reparación de plataformas de trabajo en altura .....	16
Figura 5. Servicio de mantenimiento y reparación de grupos electrógenos.....	16
Figura 6. Tableros de baja tensión. ....	17
Figura 7. Organigrama de la empresa. ....	18
Figura 8. Plan de mantenimiento orientado a la efectividad.....	27
Figura 9. Estructura de la eficiencia global de equipos.....	35
Figura 10. Modelo de diagrama de flujo .....	36
Figura 11. Modelo de hoja de verificación .....	37
Figura 12. Modelo de diagrama de causa y efecto.....	37
Figura 13. Modelo de diagrama de Pareto .....	38
Figura 14. Representación de Histograma .....	39
Figura 10. Diagrama de Ishikawa o de causa y efecto de los factores que inciden en los bajos niveles de eficiencia en los equipos de la empresa. ....	48
Figura 11. Frecuencia de ocurrencia de los principales factores que inciden en los bajos niveles de eficiencia en la gestión de mantenimiento de la empresa. ....	50
Figura 12. Diagrama de Gantt de la implementación de mejoras basadas en RCM para la gestión de mantenimiento.....	56
Figura 13. Actividades por implementar para mejorar la gestión de mantenimiento basadas en la metodología RCM .....	57
Figura 14. Máquina de soldar Lincoln Electric.....	59

Figura 15. Compresora de aire Gardner Denver .....	60
Figura 16. Banco de prueba con carga eléctrica Avtron .....	60
Figura 17. Horno eléctrico .....	61

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Tiempo medio entre fallos (MTBF) .....	31
Ecuación 2. Tiempo medio de reparaciones (MTTR).....	31
Ecuación 3. Disponibilidad .....	32
Ecuación 5. Disponibilidad .....	34
Ecuación 6. Rendimiento .....	34
Ecuación 7. Calidad.....	35

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio tuvo como propósito implementar un plan basado en el mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la eficiencia general de los equipos en la empresa AC-DC Servicios Eléctricos Industriales E.I.R.L., para solventar la situación detectada durante la experiencia profesional, en la que se observaron debilidades relacionadas con la disponibilidad, rendimiento y calidad de las maquinarias y equipos que la empresa utiliza en su proceso productivo y de servicios de mantenimiento de generadores eléctricos; situación que ha generado fallas en los equipos por falta de planeación de los mantenimientos, incumplimiento de los mantenimientos preventivos programados. Con la aplicación de herramientas de Ingeniería Industrial y la metodología RCM, se realizó un plan de mejoras, se logró incrementar la disponibilidad de dichos equipos (banco de pruebas con carga eléctrica de 94.1% hasta 97.5% y horno eléctrico de 92.8% hasta 97.5%). Asimismo, la eficiencia general de equipos de la planta se incrementó de 85.1% antes hasta llegar a 91.2%, para una variación del 6.9%. Con una inversión de S/. 69,800, se estimó un valor actualizado neto (VAN) de S/ 224,564 y una tasa interna de retorno (TIR) de 117%, para demostrar que la propuesta es viable desde el punto de vista financiero.

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

Durante la experiencia profesional de los investigadores en la empresa AC-DC Servicios Eléctricos Industriales E.I.R.L. Se tuvo la oportunidad de aplicar un conjunto de herramientas provistas por la Ingeniería Industrial y la ingeniería de mantenimiento para implementar una metodología de mantenimiento preventivo a partir del mantenimiento centrado en la confiabilidad. Para ello fue necesario cumplir con un procedimiento de diversas fases que implicaba el diagnóstico de la situación inicial, la creación de indicadores claves de desempeño de la gestión de mantenimiento, el análisis de modo y falla para determinar la causa y el efecto de las fallas más frecuentes en los equipos, la determinación de la criticidad de equipos, el plan de mantenimiento preventivo y las acciones correctivas. Cada una de estas acciones fueron orientadas al incremento de la eficiencia general de los equipos y la reducción de los costos operacionales de la organización.

### **1.1. Descripción de la empresa**

AC-DC Servicios Eléctricos Industriales E.I.R.L. Es una organización fundada en el año 2012 dedicada a las siguientes actividades: a) servicio de mantenimiento y reparación de generadores eléctricos, y b) fabricación e instalación de tableros eléctricos de baja tensión para el sector industrial y/o comercial. Su mayor interés es satisfacer las necesidades del mercado y de los clientes mediante productos diseñados especialmente para sus requerimientos, bajo cumplimiento de las normas técnicas nacionales e internacionales. La ubicación de la empresa es: Av. María Parado de Bellido #795 - Villa María del Triunfo – Lima Metropolitana, y está registrada fiscalmente bajo el código RUC: 20551317596. En la Figura 1 se puede apreciar la geolocalización de la organización:

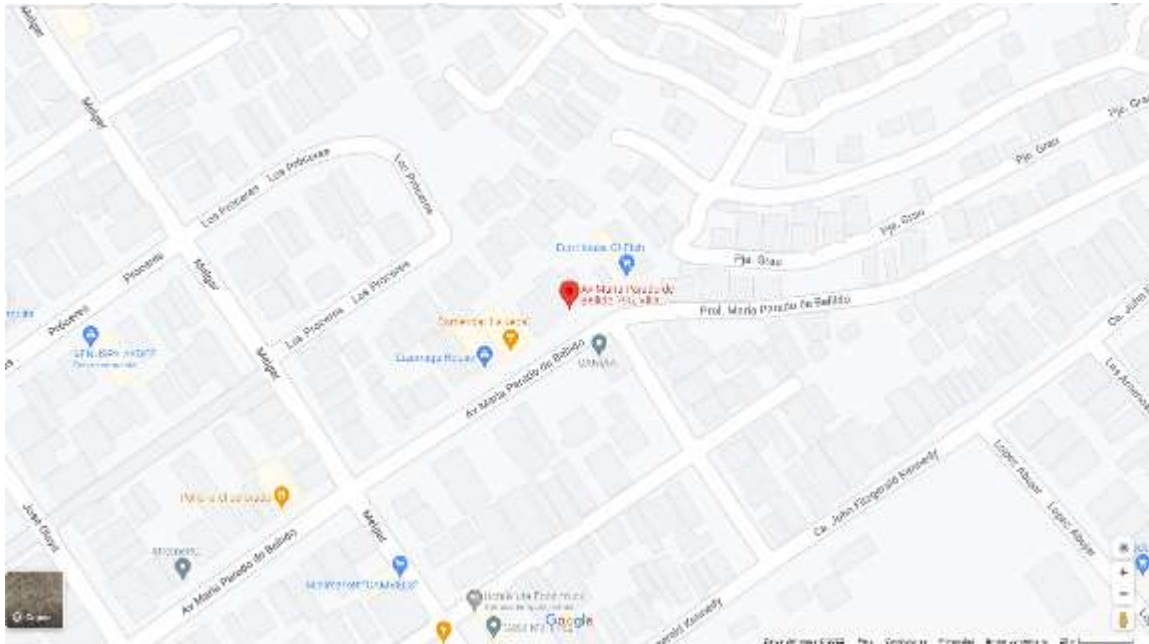


Figura 1. Geolocalización de la empresa

## 1.2. Misión y Visión

**Visión:** Ofrecer soluciones integrales en servicios de mantenimiento de generadores eléctricos y fabricación e instalación de tableros eléctricos, para satisfacer las necesidades del mercado nacional.

**Misión:** ser reconocidos como una empresa confiable que ofrece productos y servicios de calidad en el área de mantenimientos eléctricos y fabricación e instalación de tableros, distinguidos por el cumplimiento en los servicios y la capacidad de exceder las expectativas de los clientes.

## 1.3. Productos y/o servicios de la empresa

**Servicio de mantenimiento y reparación de generadores eléctricos:** Algunos componentes del mantenimiento del generador requieren controles semanales o mensuales según las horas de funcionamiento del generador. Esto incluye revisar los niveles de combustible y refrigerante. Se pueden realizar otros tipos de mantenimiento de forma

semestral y anual, como revisar el cableado eléctrico y los cables y conexiones de la batería, así como cambiar los filtros de aire y combustible. En la empresa se realiza un seguimiento del mantenimiento de rutina y la programación de su generador en función de su tipo de generador y la frecuencia con la que se utiliza



*Figura 2.* Servicio de mantenimiento y reparación de torres de iluminación



*Figura 3.* Servicio de mantenimiento y reparación de torres de iluminación





*Figura 4.* Servicio de mantenimiento y reparación de plataformas de trabajo en altura



*Figura 5.* Servicio de mantenimiento y reparación de grupos electrógenos



**Fabricación e instalación de tableros eléctricos de baja tensión para el sector industrial y/o comercial:** se refiere principalmente a contenedores de metal para almacenar componentes eléctricos industriales. La tarea principal de estos productos es crear un espacio adecuado para la instalación de equipos eléctricos y también para protegerlos de factores externos. Los tableros de baja tensión también es uno de los tipos de equipo industrial más comunes y ampliamente utilizados. En general, las celdas industriales con un voltaje de hasta 1000 voltios se denominan celdas de baja tensión. El confinamiento del espacio del cuadro de distribución minimiza muchos de los peligros de utilizar equipos eléctricos de alta tensión para las personas. Asimismo, el cuerpo del cuadro eléctrico, al proteger su equipamiento interno contra factores ambientales como el polvo, el agua y la contaminación, ayuda a garantizar su seguridad.



*Figura 6.* Tableros de baja tensión.

#### 1.4. Organigrama de la empresa

En la Figura 7 se muestra la estructura organizacional de la empresa para el momento en que fue llevada a cabo la experiencia profesional de los investigadores:

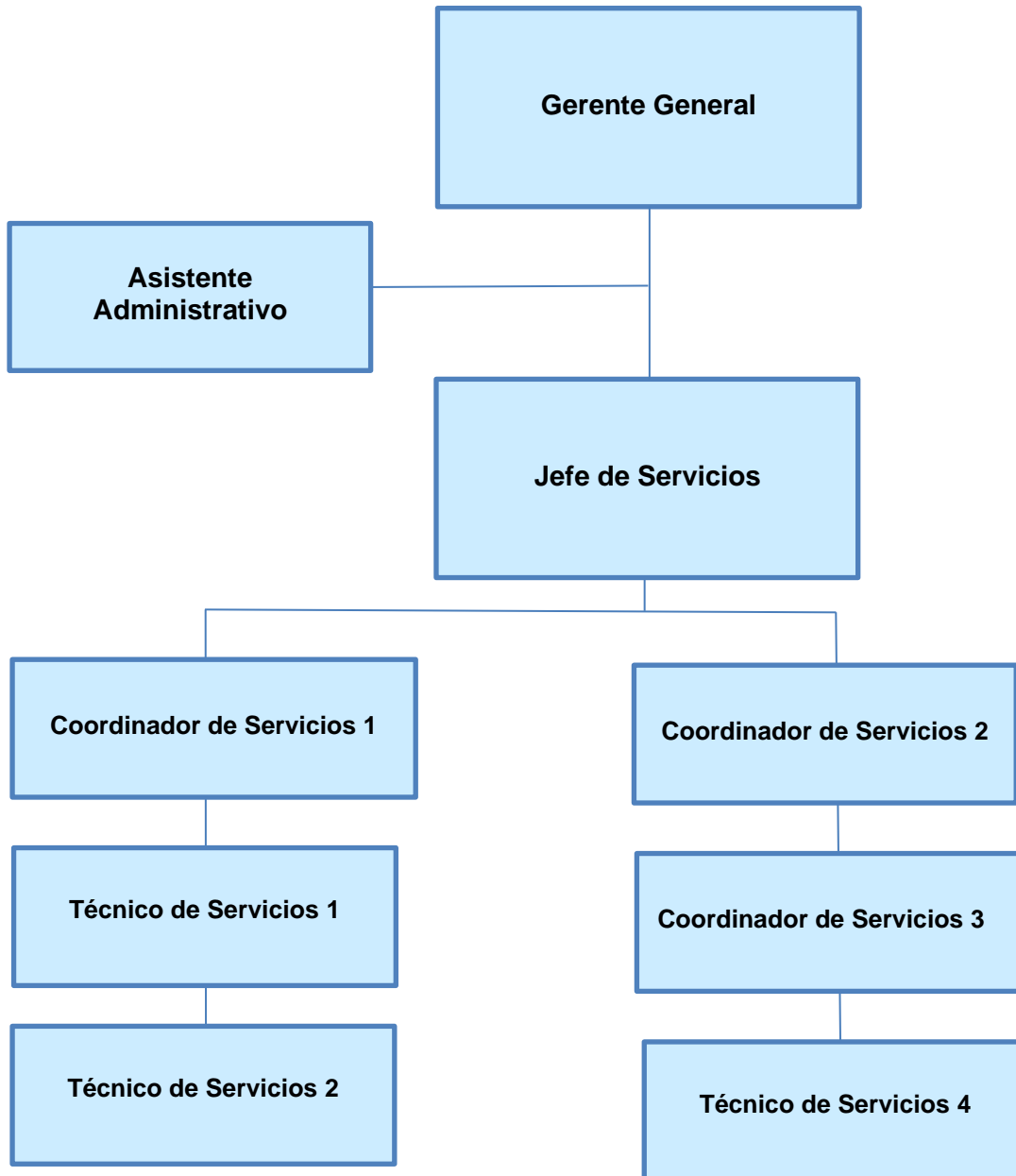


Figura 7. Organigrama de la empresa.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes de la investigación**

#### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

Adnan et al. (2021), llevaron a cabo una investigación para determinar los factores que incide en la gestión de mantenimiento en las pequeñas y medianas empresas mediante un enfoque sostenible y eficiente con la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). Fue realizada como una investigación cuantitativa de tipo aplicada y estudio de caso mediante la evaluación de ocho de empresas dedicadas a los servicios de fabricación reparación mantenimiento y mecanizado. En sus resultados los autores expusieron que las empresas estudiadas se esfuerzan en diferentes áreas de la gestión de mantenimiento en las respectivas PYMES. La principal preocupación es validar los factores críticos de éxito (CSF) en la gestión de la actividad de mantenimiento en las PYME seleccionadas. Este estudio descubrió que ocho factores están teniendo el impacto más significativo para mejorar la práctica de gestión de mantenimiento para las PYME: comprender la filosofía de RCM; compromiso de gestión y liderazgo; estrategia de mantenimiento; planificación; formación del personal; seguimiento y evaluación. Los autores concluyeron que a través de la identificación de estos factores críticos se puede incorporar hay personal a un plan integrado de mantenimiento junto con la aplicación de herramientas técnicas tecnologías e indicadores de gestión. El aporte del trabajo fue la identificación de las actividades que deben comprender la implementación de un plan RCM.

Harits et al. (2021), elaboraron un estudio con el propósito de implementar una política de mantenimiento propuesta utilizando el método de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) con análisis AMEF, con un estudio de caso de la industria automotriz

en Indonesia. Fue realizada bajo el enfoque cuantitativo de tipo de investigación aplicada. En los resultados los autores expusieron que mediante el uso de la matriz de riesgo, se obtuvieron dos subsistemas críticos, a saber, el freno y el gatillo. Luego se realizó el análisis de modo de falla, efectos y análisis de criticidad (FMECA) con salida en forma de número de prioridad de riesgo (RPN), obteniendo que el subsistema crítico seleccionado es el freno. De igual manera en las conclusiones indicaron que la política de mantenimiento propuesta también reduce el costo total de mantenimiento para el freno del subsistema crítico hasta en un 25% de los costos de mantenimiento existentes. El aporte del estudio para la investigación fue el uso de la matriz de análisis de modo efecto de Falla para la evaluación de los equipos, la cual fue utilizada en el desarrollo de la implementación.

Wicaksono et al. (2019), realizaron un estudio para proponer un diseño de sistemas de mantenimiento de máquinas de producción mediante el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). Fue realizado bajo el enfoque de la investigación cuantitativa de tipo aplicada mediante un estudio de caso en una empresa manufacturera en Indonesia. Los resultados de la investigación muestra la determinación de objetos críticos, luego identifica cada función de los activos, lleva a cabo un análisis AMEF y calcula el riesgo más alto de cada modo de falla, calcula los intervalos de mantenimiento adecuados para los cinco modos de falla más altos, luego termina con una estrategia de mantenimiento considerando el riesgo. Los autores concluyeron que al aplicar el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, la confiabilidad de la máquina se puede incrementar en un promedio de 39.34% y se puede encontrar la estrategia de mantenimiento adecuada. Además, se obtuvo un nuevo procedimiento para convertirse en una nueva política de mantenimiento para la empresa. El aporte de la investigación fue la identificación de los criterios de Falla para el análisis de los equipos.

Azid et al. (2019) llevaron a cabo una investigación para desarrollar un marco conceptual y un levantamiento de la relación entre las técnicas de mantenimiento productivo total (TPM) y el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). Fue realizado bajo los principios de la investigación cuantitativa de método comparativo, con la aplicación de una encuesta a diferentes gerentes de mantenimiento en empresas de Singapur. En sus resultados los autores indicaron que el mantenimiento productivo total se orienta más a la eliminación de fallas de las actividades diarias que involucran a la fuerza de trabajo mientras que el propósito del RCM es mejorar la confiabilidad de los equipos. Se concluyó que aunque ambos usan herramientas diferentes, ambos están vinculados entre sí a través de la herramienta Lean y pueden aumentar la calidad del producto, la confiabilidad del equipo, aumentar la seguridad, y aumentar las ganancias. Los resultados de la encuesta también indicaron que la mayoría de las empresas que implementan TPM son grandes organizaciones, mientras que el RCM es la estrategia más común en las medianas o pequeñas organizaciones. El aporte de la investigación radicó en la conformación de un marco teórico para validar el uso del mantenimiento centrado en confiabilidad en pequeñas y medianas empresas como es el caso de la empresa en la cual se llevó a cabo la intervención.

Sajaradj et al. (2019) elaboraron un estudio para determinar la factibilidad de la aplicación de métodos de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para diseñar un plan de revisión diaria en el sistema de mantenimiento en la fabricación. la investigación fue realizada bajo el enfoque cuantitativo de tipo aplicada con un estudio de caso en empresas del sector automotriz en los Estados Unidos de América. En sus resultados el estudio propone un modelo que incluye la determinación de los modos y análisis de Falla, la determinación de las causas más frecuentes de Falla, la selección de los equipos, el plan de mantenimiento y las medidas correctivas mediante la aplicación del ciclo PDCA. Los autores concluyeron que aunque el objetivo principal del mantenimiento centrado en la confiabilidad

es determinar el costo del mantenimiento, los resultados del análisis también se pueden utilizar en relación con las prioridades planteadas en la observancia de los planes de mantenimiento, ya que las empresas estudiadas se dedican a la reparación de sistemas automotrices. El aporte de este antecedente radica en la manera como integra la metodología PDCA dentro de la implementación de un modelo de RCM, lo cual facilita la aplicación de las estrategias.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Medina (2021) elaboró una investigación con el objetivo de demostrar la influencia del uso de la metodología AMEF como principal herramienta del mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la gestión de mantenimiento de una empresa de servicio de maquinarias pesadas. El estudio fue realizado bajo el enfoque de una investigación cuantitativa de tipo descriptiva y aplicada. Los resultados del estudio permitieron mostrar como el uso de la metodología de análisis de modo y efectos de fallos (AMEF) contribuye a estandarizar la gestión de mantenimiento de equipo y a reducir los costos operacionales, mediante el control de las desviaciones detectadas en la planificación de mantenimiento de los equipos. En las conclusiones los autores explicaron que el diagnóstico fue medido con los indicadores de tiempo medio entre fallos y disponibilidad operativa para demostrar que se mejoró la planificación de los equipos con mayor criticidad de mantenimiento, y se contribuyó con el incremento de la eficiencia y la rentabilidad de la organización. Este antecedente sirvió como aporte para el estudio llevado a cabo en la empresa, ya que ofrece la manera como hacer los cálculos de los indicadores de tiempo medio entre fallos y disponibilidad.

Macedo y López (2020) llevaron a cabo un estudio con el propósito de implementar una planificación para la gestión de mantenimiento que permitiera incrementar la

disponibilidad en los equipos de una empresa de minería, a través de los principios de las herramientas del mantenimiento centrado en la confiabilidad. El estudio fue realizado bajo el enfoque cuantitativo de tipo aplicado con el uso de herramientas y técnicas de Ingeniería Industrial para diagnosticar la situación inicial de la organización. Los autores indicaron en sus resultados que el problema principal estaba relacionado con la interrupción en el suministro de energía que disminuiría la operatividad del equipo y sus características. Los investigadores concluyeron que la implementación de un plan basado en RCM permitió incrementar la disponibilidad de los equipos del 77% al 83%; se disminuyó el tiempo medio entre fallos de 56 horas a 83 horas, y se disminuyó el tiempo medio para reparación de 13 a 9 horas por avería. El aporte de dicho estudio radicó en la manera como vincula el cálculo de indicadores con la presentación de los resultados finales del estudio.

Ccance y Quiñones (2020) elaboraron una investigación con el objetivo de aplicar las herramientas provistas por el mantenimiento centrado en la confiabilidad y determinar su influencia en la productividad de una empresa manufacturera. Realizada bajo el enfoque cuantitativo de tipo aplicado y un estudio de caso comparativo con una evaluación antes y después de los indicadores de confiabilidad mantenibilidad y productividad. Con el uso de registro de producción y planes de mantenimiento como instrumentos de recolección de información. En las conclusiones, los autores expresaron que la implementación de la metodología RCM contribuyó a incrementar la productividad, la eficiencia y la eficacia de las operaciones de la empresa. El aporte del estudio fue el uso de la estadística inferencial se demostró una reducción en los tiempos medios entre fallos lo que contribuyó a incrementar la confiabilidad y la productividad.

Padilla (2020), elaboró una investigación cuyo propósito fue aplicar un plan de mejoras en la gestión de maquinaria y equipos, a partir de los principios del mantenimiento centrado en la confiabilidad en una empresa dedicada al suministro de maquinarias para el

sector de la construcción. Fue realizada como una investigación cuantitativa de tipo aplicada como resultado de una experiencia profesional. Mediante la aplicación de herramientas de Ingeniería Industrial como el diagrama de Pareto y el análisis de modos y fallas se determinó que la principal causa de los problemas era la ausencia de un plan de mantenimiento, por lo cual se elaboró un plan que incluía la creación de formatos de control, programación del mantenimiento preventivo, registro de eventualidades de mantenimiento correctivo y actualización de los inventarios de repuestos. En las conclusiones el autor indicó que se logró incrementar la confiabilidad de equipos en 43%, lo que incidió en el incremento de la disponibilidad hasta un 96%. El estudio ofreció información relevante para la definición de formatos de seguimiento y la conformación del marco teórico.

Chuquimango y Cotrina (2017) elaboraron una investigación para diseñar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad en la flota de excavadoras hidráulicas y de esta forma reducir costos de reparación en una empresa dedicada a los servicios de ingeniería. Fue realizada como una investigación cuantitativa de tipo aplicada con estudio de caso. En los resultados se muestra que el diagnóstico determinó los factores que generan atrasos en los planes de mantenimiento y costos de reparación. De igual forma se crearon los indicadores de mantenimiento que permitieron implementar las mejoras. En las conclusiones los autores indicaron que ese disminuyó la frecuencia de fallas en el 40%, se redujo el tiempo de inoperatividad en un 22% se redujeron los costos en 18% y se aumentó la disponibilidad en 5%. El aporte del estudio fue el uso de herramientas de diagnóstico como el diagrama de Ishikawa y el diagrama de Pareto para presentar los resultados del análisis inicial.



## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Gestión de mantenimiento.

La definición de mantenimiento se basa en la combinación de todos los aspectos técnicos, administrativos y actividades de gestión del ciclo de vida de un activo, con el fin de mantenerlo o devolverlo a un estado en el que pueda desempeñar su función requerida (Santos et al., 2019), por lo que se puede interpretar como el conjunto de acciones que una empresa desarrolla para mantener sus equipos y maquinarias en las mejores condiciones. En una visión general, hay tres principales tipos de mantenimiento: preventivo, correctivo y de mejora. De acuerdo con Mehmeti et al. (2018), en términos teóricos se definen como:

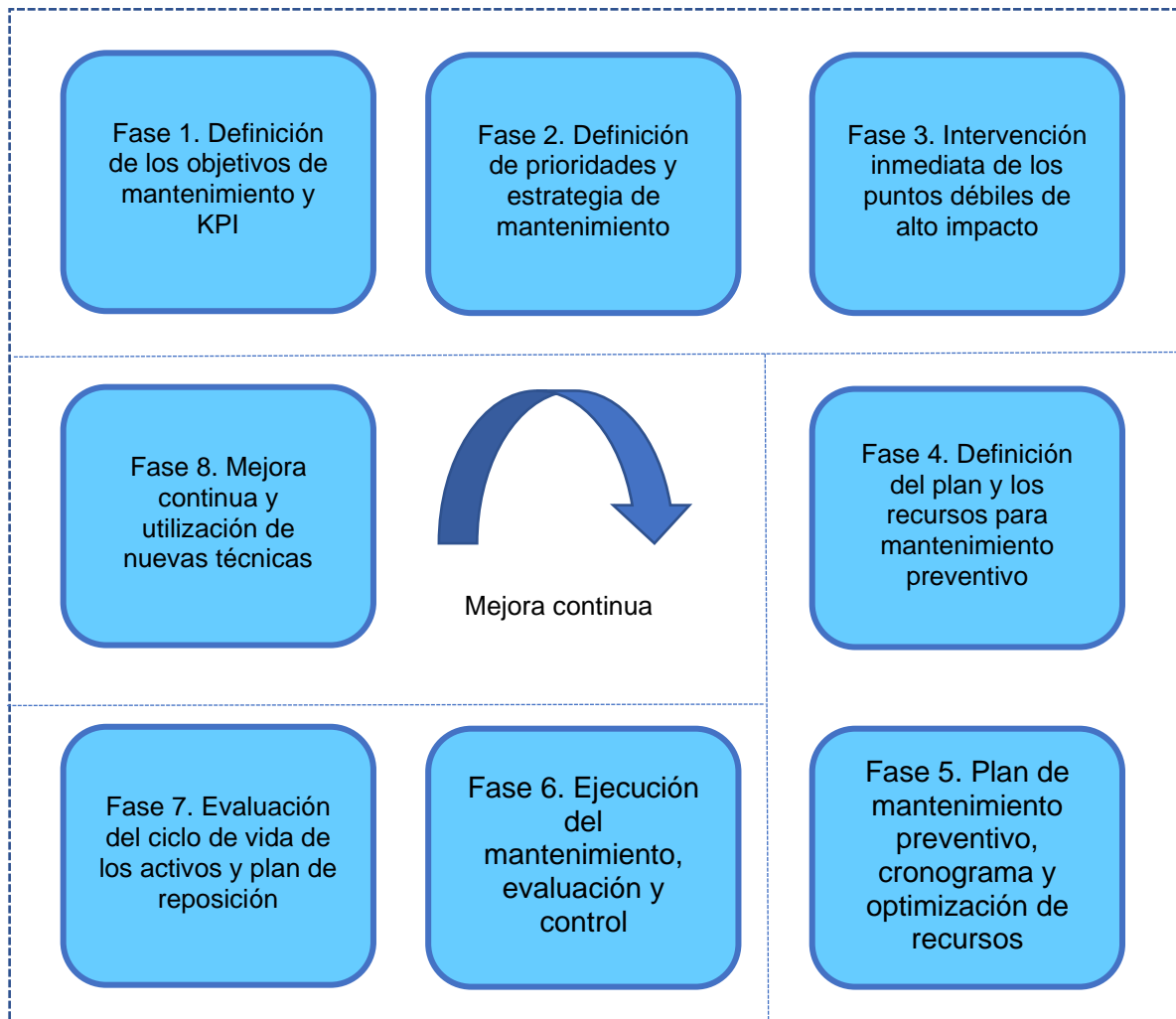
- a) Mantenimiento preventivo: es el mantenimiento realizado a intervalos predeterminados o de acuerdo con criterios prescritos y destinados a reducir la probabilidad de falla o la degradación del funcionamiento de un equipo.
- b) Mantenimiento Correctivo: es el mantenimiento realizado después del reconocimiento de fallas y destinado a poner un equipo un estado en el que puede realizar una función requerida.
- c) Mantenimiento de mejora o proactivo: destinado a mejorar el rendimiento de un activo en su contexto, considerado como una mejora sobre el mantenimiento condicionado, donde la clave es identificar el cambio que puede mejorar el funcionamiento del activo.

Dentro de este contexto, el proceso de gestión del mantenimiento se puede dividir en dos partes: la definición de la estrategia y la implementación de la estrategia (Alarcón et al., 2021). La primera parte, definición de la estrategia de mantenimiento, requiere la definición de los objetivos de mantenimiento como insumo, que se obtendrán directamente del plan de negocio de la empresa. Esta parte inicial del proceso de gestión del mantenimiento condiciona el éxito del mantenimiento en una organización, y determina la eficacia de la

implementación posterior de los planes de mantenimiento, cronogramas, controles y mejoras (Crespo et al., 2019).

Por su parte, la eficacia muestra cómo un departamento o función cumple con sus objetivos o necesidades de la empresa, y a menudo se discute en términos de la calidad del servicio prestado, visto desde la perspectiva del cliente (Santos et al., 2019). Esto permitirá llegar a una posición en la que se podrá minimizar costos indirectos de mantenimiento, aquellos costos asociados con la producción pérdidas y, en última instancia, con la insatisfacción del cliente (Mehmeti et al., 2018). En el caso del mantenimiento, la eficacia puede representar la satisfacción general de la empresa con la capacidad y condición de sus activos (Crespo et al., 2019), o la reducción del costo total de la empresa obtenido porque la capacidad de producción está disponible cuando se necesita (Alarcón et al., 2021), por lo que se puede decir que la eficacia se concentra entonces en la corrección del proceso y si el proceso produce el resultado requerido.

La segunda parte del proceso, la implementación de la estrategia seleccionada tiene un diferente nivel de significación. De acuerdo con Sing et al. (2020), la capacidad de una organización para hacer frente a la implementación de la gestión del mantenimiento, permitirán minimizar costos directos de mantenimiento (mano de obra y otros recursos necesarios para el mantenimiento). En esta parte del proceso, Alarcón et al. (2021) explican que la organización se ocupa de la eficiencia de su gestión, que debe ser menos importante. La eficiencia es actuar o producir con el mínimo desperdicio, gasto o esfuerzo innecesario. La eficiencia se entiende entonces como proporcionar la misma o mejor mantenimiento por el mismo costo. De acuerdo con Crespo et al. (2009) un plan de mantenimiento orientado a la efectividad debe cumplir con las siguientes ocho fases (Ver Figura 8):



*Figura 8.* Plan de mantenimiento orientado a la efectividad.  
*Fuente:* Crespo et al. (2009). <https://doi.org/10.1108/13552510910961110>

Una vez definidos los objetivos y la estrategia de mantenimiento, existe un gran número de técnicas cuantitativas y cualitativas que intentan proporcionar una base sistemática para decidir qué activos deben tener prioridad dentro de una gestión de mantenimiento, decisión que debe tomarse de acuerdo con la estrategia de mantenimiento. La mayoría de las técnicas cuantitativas utilizan una variación de un concepto conocido como el “número de probabilidad/riesgo” – PRN (Crespo et al., 2019).

En algunas ocasiones, no hay datos concretos sobre las tasas históricas de fallos, pero la organización de mantenimiento puede requerir una cierta evaluación bruta de la prioridad de los activos para llevarse a cabo. En estos casos, se pueden utilizar métodos cualitativos (Alarcón et al., 2019) y se puede obtener una evaluación inicial de activos, como una forma de comenzar a construir la efectividad de las operaciones de mantenimiento (García y Gallego, 2019).

### **2.2.2. Mantenimiento centrado en la confiabilidad**

El mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) es una estrategia de mantenimiento a nivel organizacional que se implementa para optimizar el programa de mantenimiento de una empresa o instalación (Kim & Choi, 2020). El resultado final de un programa RCM es la implementación de una estrategia de mantenimiento específica en cada uno de los activos de la instalación (Gupta & Mishra, 2018), donde se busca mejorar las labores de mantenimiento para incrementar la productividad mediante el uso de técnicas rentables. De esta manera se puede decir que el mantenimiento centrado en la confiabilidad es una forma de trabajo en la cual el programa de mantenimiento se orienta al incremento de la confiabilidad de los equipos y la reducción de los tiempos de reparación.

De acuerdo con los estudios de Gupta & Mishra (2018), hay cuatro principios que son críticos para un programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad: (a) el objetivo principal es preservar la función del sistema, (b) identificar los modos de falla que pueden afectar la función del sistema, (c) priorizar los modos de falla y (d) seleccionar tareas aplicables y efectivas para controlar los modos de falla. Una implementación eficaz de mantenimiento centrado en la confiabilidad evalúa la instalación como una serie de sistemas funcionales. De acuerdo con Fraser et al. (2017), la implementación de un plan a partir del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) incluye (Ver Tabla 1)

Tabla 1. *Fases de la implementación de un plan a partir del mantenimiento centrado en la confiabilidad.*

Nombre de la fase	Descripción
Selección de equipos por analizar	La primera actividad es ubicar los equipos que van a ser sometidos al análisis de mantenimiento RCM. este equipo debe ser relevante para los procesos y operaciones, y debe manifestar criticidad en los costos históricos de reparación.
Identificar los modos de falla	El propósito de esta fase es reconocer las probabilidades de Falla de cada equipo y cómo éstas pueden afectar al sistema.
Determinar las causas que originan las fallas	Con el apoyo del equipo de trabajo, el personal de mantenimiento y los lineamientos del plan RCM se busca reconocer las razones principales que causan las fallas.
Analizar los efectos o consecuencias de la falla	Durante esta actividad se analizan las consecuencias de cada falla, en relación con como afectan otras máquinas, la eficacia de las operaciones o la seguridad de los trabajadores, así como el nivel de criticidad de la falla identificada.
Selección de una estrategia de mantenimiento de acuerdo con cada falla detectada	Para esta fase se debe reconocer el tipo de mantenimiento más adecuado de acuerdo con las fallas presentadas, previo análisis técnico y económico de su factibilidad.

Nombre de la fase	Descripción
Implementar y revisar regularmente la táctica de mantenimiento seleccionada	La importancia de destacar que la metodología RCM solo será útil si sus recomendaciones de mantenimiento se ponen en práctica. Una vez cumplida con esta actividad, se deben revisar y actualizar las recomendaciones cada vez que se incorpore nueva información al proceso

Fuente: elaboración propia, a partir de Fraser et al. (2017).

En lo que respecta a la técnica de mantenimiento más adecuada según cada modo de falla, se debe emplear el mantenimiento basado en condiciones cuando contribuye de manera técnica o económica a reducir los riesgos que se presente una nueva falla (Fang et al., 2019). Por su parte, el mantenimiento preventivo basado en el tiempo o el uso se selecciona cuando es técnica y económicamente factible reducir el riesgo de falla usando este método (Ramos et al., 2018). Para los modos de falla que no tienen opciones satisfactorias de mantenimiento preventivo o de mantenimiento basado en la condición, es recomendable rediseñar las acciones del sistema de forma tal que se pueda eliminar la falla (Gupta & Mishra, 2018).

RCM tiene como objetivo reducir costos, mejorar la seguridad y eliminar tareas de mantenimiento que no son efectivas o apropiadas para una determinada pieza de maquinaria. La implementación de procesos de RCM le permite evitar una mentalidad estandarizada que podría desperdiciar tiempo y recursos valiosos (Ramos et al., 2018).

### 2.2.3. Dimensiones del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

**Confiabilidad:** esta dimensión mide la probabilidad de que un equipo se mantenga operativo en un periodo de tiempo determinado, mide la frecuencia de fallas e identifica el

comportamiento de inactividad de los equipos; para que realice las funciones esperadas sin tiempos de espera o fallas, de acuerdo con la planificación de la empresa. (Fraser et al., 2017). Mide El tiempo promedio que el equipo, la pieza o el sistema en general falla durante las operaciones. Se mide mediante este indicador:

*Tiempo medio entre fallos (MTBF)*: Mide el tiempo promedio que es capaz de trabajar el equipo a su capacidad, sin interrupciones dentro de un periodo considerado. Su fórmula es la siguiente:

$$MTBF = \frac{HROP}{NTFALLAS + 1}$$

*Ecuación 1. Tiempo medio entre fallos (MTBF)*

De acuerdo con esta ecuación, el resultado se obtiene dividiendo las horas en las que se utilizó el equipo (HROP) entre el número de fallas registradas en el mismo lapso.

**Mantenibilidad**: es el indicador con el cual se mide la capacidad de mantenimiento, ya que se obtienen los promedios ver el tiempo que se toma reparar un equipo, lo que permite establecer periodos de inactividad (Fraser et al., 2019). Para su cálculo, se utiliza la ecuación denominada tiempo medio de reparación:

*Tiempo medio de reparaciones (MTTR)*: este indicador de determina la probabilidad de que los equipos puedan estar disponibles para la producción en un periodo específico. la fórmula que se aplica es la siguiente:

:

$$MTTR = \frac{TTF}{NTFALLAS}$$

*Ecuación 2. Tiempo medio de reparaciones (MTTR)*

**Disponibilidad:** es la relación porcentual del tiempo que se cuenta para operar las máquinas, y es derivado de los indicadores de confiabilidad y mantenibilidad. (Fraser et al., 2019). Es decir, es la probabilidad de que los equipos funcionen de manera adecuada en el momento que son solicitados, por lo que éstos no fallan ni se están reparando en el momento que se necesitan para las operaciones. En términos de planificación RCM, este es el indicador principal porque está relacionado directamente con la capacidad de producción de una planta, e incluye los tiempos planificados para el mantenimiento y las fallas probables.

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

*Ecuación 3. Disponibilidad*

En la ecuación presentada, MTBF es el tiempo medio entre fallos en un periodo y MTTR es el tiempo medio de reparaciones en el mismo periodo.

#### **2.2.4. Eficiencia general de equipos.**

La eficacia general del equipo (OEE) es un término que se utiliza para evaluar la eficiencia con la que se utiliza la operación de un fabricante. En otras palabras, la efectividad general del equipo ayuda a detectar un problema en las operaciones, identificar qué porcentaje del tiempo de fabricación es realmente productivo y solucionarlo mientras brinda un indicador estandarizado para realizar un seguimiento del progreso (Muñoz et al. 2018). El objetivo de medir su OEE es la mejora continua.

La comprensión de la eficacia general del equipo o OEE es un cálculo realizado para determinar el valor de la eficacia de las máquinas o equipos disponibles (Moreira et al., 2018). OEE es uno de los métodos disponibles en las herramientas lean de mantenimiento.



Por regla general, el OEE se puede utilizar como indicador o sistema de rendimiento de la máquina (Esmaeel et al., 2018).

Según Sousa et al. (2018), la efectividad general del equipo es una figura poderosa. Proporciona mucha información en un solo número, por lo que hay varias formas en que se usa OEE para medir la productividad de fabricación. Cuando se calcula e interpreta correctamente, puede maximizar significativamente su producción. Por su parte, Moreira et al. (2018) indicaron que la efectividad general del equipo se usa como punto de referencia para comparar cualquier producción dada con los estándares de la industria, equipo interno u otros turnos que trabajan en la misma pieza de equipo. De acuerdo con García et al. (2018), los beneficios del cálculo de la eficiencia general de equipos incluyen:

- a) Mejora en el retorno de la inversión de los equipos: al tomar en cuenta que las empresas invierten grandes cantidades de dinero para comprar equipos es importante maximizar el retorno de dicha inversión. al utilizar un enfoque OEE se puede medir la relación entre el rendimiento la disponibilidad y el tiempo de producción.
- b) Aumenta la competitividad, ya que la medición va a contribuir a la administración de pérdidas durante la producción. el registro de indicadores de OEE puede contribuir a obtener datos en tiempo real sobre fallas o deficiencias de producción, lo que permite tomar medidas correctivas inmediatas.
- c) Reducción del costo de maquinarias. de acuerdo con Muñoz et al. (2018), uno de los beneficios fundamentales en el uso de OEE es que incrementa la capacidad de producir el rendimiento necesario para saber cuándo los equipos funcionan de manera eficiente, y del modo contrario, obtener advertencias respecto a las averías y reparaciones de la máquina que permiten rápidas soluciones y minimizan los costos y el tiempo de inactividad.

## 2.2.5. Dimensiones e indicadores de Eficiencia General de Equipos

Respecto a los indicadores que se han creado para medir la eficiencia general de equipos, Muñoz et al (2018) explicaron que la OEE se obtiene de estas tres dimensiones:

- a) Disponibilidad: Esto tiene en cuenta el tiempo de parada planificado y no planificado.

Un puntaje de disponibilidad perfecto significa que su operación se ejecuta constantemente durante los tiempos de producción planificados. La razón de la disponibilidad de estos es el nivel de eficacia del funcionamiento de la máquina o sistema de una empresa. El índice de disponibilidad se trata de la comparación entre el tiempo de operación y el tiempo de preparación. Su fórmula es la siguiente:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo de ejecución}}{\text{Tiempo de producción planificado}}$$

*Ecuación 4. Disponibilidad*

- b) Rendimiento: esto tiene en cuenta la cantidad de veces que hay ralentizaciones o paradas breves en la producción. Una puntuación de rendimiento perfecta en términos de OEE significa que su operación se ejecuta lo más rápido posible. La eficiencia de rendimiento es una relación entre lo que realmente debe ser dentro de un cierto período de tiempo o podría describirse como una comparación entre el nivel de producción real y lo que se espera (Muñoz et al., 2018). Su fórmula es la siguiente:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{unidades producidas}}{\text{unidades planificadas}}$$

*Ecuación 5. Rendimiento*

c) Calidad: se refiere a las piezas fabricadas que no cumplen con los estándares de control de calidad, incluidas las que deben volver a trabajarse. Por ello, el índice de calidad del producto es una relación entre la cantidad de productos que son mejores y también la cantidad total de productos procesados. Niveles de calidad que este producto es capaz de mostrar productos que pueden ser aceptados por la totalidad de los productos producidos. Se calcula como:

$$Calidad = \frac{\text{unidades aceptadas}}{\text{Total unidades elaboradas}}$$

Ecuación 6. Calidad

La medición de OEE es una de las mejores prácticas de fabricación. Al medir la OEE y las pérdidas subyacentes, se obtiene información importante sobre cómo mejorar sistemáticamente su proceso de fabricación. OEE es la mejor métrica para identificar pérdidas, evaluar el progreso y mejorar la productividad de los equipos de fabricación; es decir, eliminar el desperdicio (Tsarouhas, 2019). En La Figura 9 se hace una representación visual de la estructura de la eficiencia global de equipos (OEE):



Figura 9. Estructura de la eficiencia global de equipos.

## 2.2.6. Herramientas de ingeniería y mejora continua

**Diagrama de Flujo:** Un diagrama de flujo es una representación gráfica formalizada de una secuencia lógica, un proceso de trabajo o fabricación, un organigrama o una estructura formalizada similar (Picarillo, 2018). El propósito de un diagrama de flujo es proporcionar a las personas un lenguaje común o un punto de referencia cuando se trata de un proyecto o proceso (Venanzi et al., 2018). Los diagramas de flujo utilizan flechas y símbolos geométricos simples para definir las relaciones (Ali & Ayele, 2019).

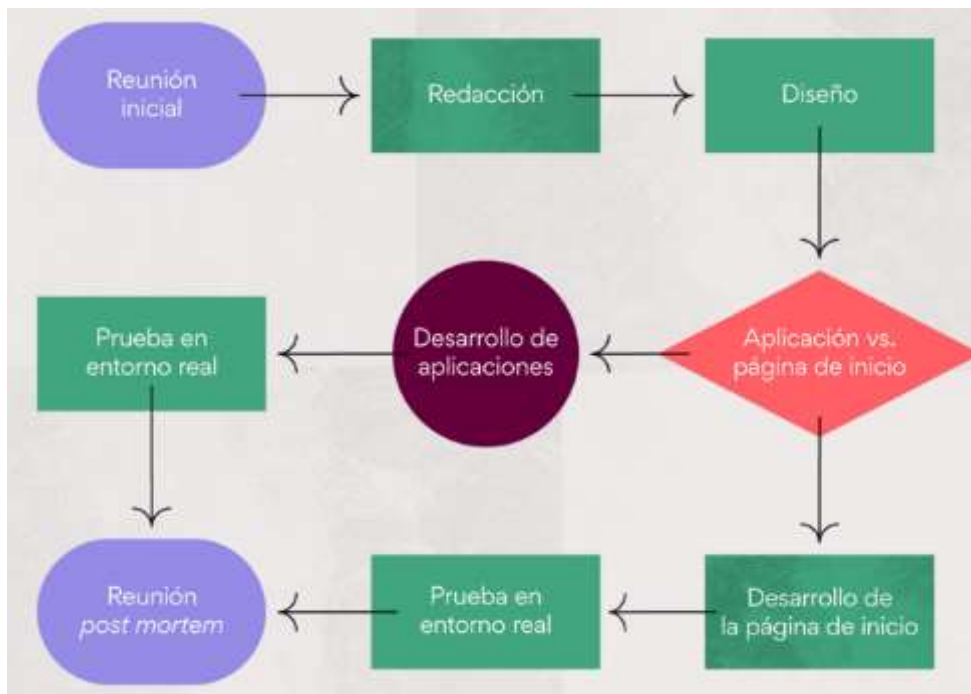


Figura 10. Modelo de diagrama de flujo  
Fuente: Picarillo (2019).

**Hoja de verificación:** la hoja de verificación o de control es una herramienta de calidad empleada para registrar datos acumulables y poder evaluar las veces que ocurre determinado evento (Da Silva et al., 2022). Esta información útil para los procesos, ya que permite identificar mejoras para reducir fallas y asociar las causas que generan las fallas y las frecuencias, así como puede servir como base de datos para la creación de gráficos (Nilson et al., 2019).

Proyecto/Proceso/Situación			Convención
Nombre de observador			
Localización			
Fecha			
Hoja #			
Evento/Producto/Defecto/Item	Frecuencia	Comentarios	Total
Defecto 1			
Defecto 2			
Defecto 3			
Defecto 4			
Defecto 5			
Defecto 6			
Defecto 7			
Defecto 8			
Defecto 9			
Defecto 10			
<b>Total</b>			

Figura 11. Modelo de hoja de verificación  
Fuente: Nilson et al (2019).

**Diagrama de causa y efecto:** esta es una de las herramientas más utilizadas para la toma de decisiones, ya que permite representar visualmente las posibles causas que originan un problema (Tsironis, 2018). Para ello, se somete a consulta en el equipo de trabajo los diferentes factores que afectan un proceso y se agrupan por tipo (materiales, procesos, equipos, mano de obra), para apreciar el impacto que tiene sobre el problema general (Venanzi et al., 2018)

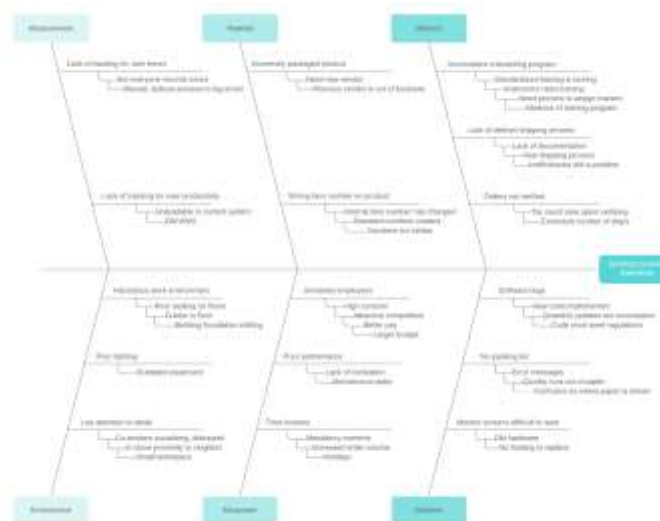


Figura 12. Modelo de diagrama de causa y efecto  
Fuente: Venanzi et al (2018).

**Diagrama de Pareto:** esta es una representación mediante gráficos de barra que ordena la cantidad de frecuencias con lo que ocurre un suceso (Da Silva et al., 2022). Es una de las herramientas de mayor uso para identificar las prioridades respecto a los factores que tienen mayor efecto sobre un área de estudio (Nilson et al., 2019). Debido a ello, sus principales usos están asociados con: (a) análisis de frecuencia de problemas relacionadas con un proceso específico; (b) cuando la cantidad de problemas es muy grande y se desea establecer prioridades y (c) comunicar al equipo de trabajo mediante una herramienta de gerencia visual

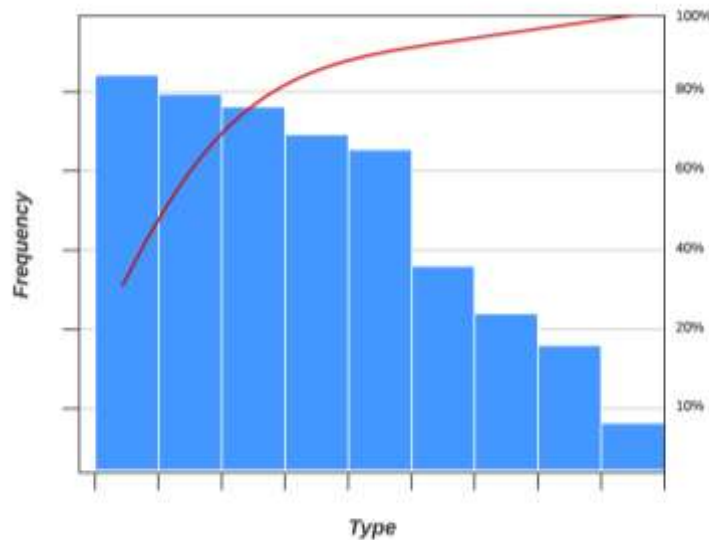
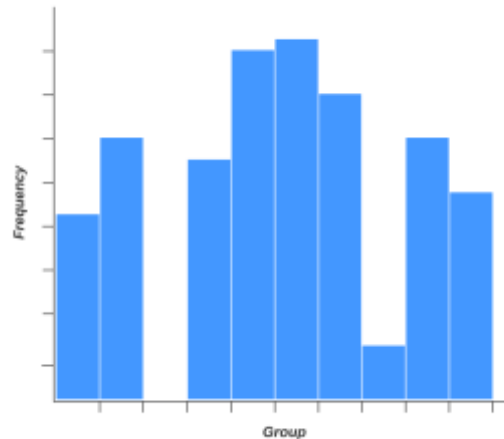


Figura 13. Modelo de diagrama de Pareto  
Fuente: Da Silva et al (2022).

**Histograma:** son gráficos que se representan mediante barras que permiten observar patrones de comportamiento dentro de un proceso típico; de forma tal que cualquier cambio que se genere en el proceso debe obligar una nueva recolección de información (Tsironis, 2018). Las variaciones en los patrones demuestran que la herramienta sirve para entender los cambios en los procesos (Venanzi et al., 2018). debido a que los cambios ocurren por la incidencia de 2 factores, los histogramas se deben hacer con la comparación de dos variables, como por ejemplo tiempo y cantidad de producción (Ali & Ayele, 2019).



*Figura 14.* Representación de Histograma  
Fuente: Da Silva et al (2022).

De forma resumida, los investigadores introdujeron muchas herramientas de TQM que ayudan a la industria a operar sin problemas y con ganancias. Estas herramientas pueden ayudar a la industria en muchos enfoques. Por ejemplo, las estrategias fundamentales son; identificar dificultades con la calidad, analizar datos, recopilar información, identificar las principales causas de los problemas y evaluar los resultados.

### 2.3. Definición de términos básicos

**Análisis de fallas:** Este es el proceso de recolectar y analizar datos para determinar la causa de una falla, con el objetivo de determinar acciones correctivas.

**Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF):** esta es una herramienta analítica utilizada por las empresas para localizar e identificar posibles fallas en los equipos.

**Ciclo de vida de un activo:** Son las diversas etapas que intervienen en la gestión de un activo. Comienza con las etapas de planificación cuando se identifica la necesidad de un activo y continúa a lo largo de su vida útil y su eventual reemplazo o disposición.

**Consecuencias de fallas:** el impacto de un determinado modo de falla, utilizado principalmente en la evaluación de activos cuando se utiliza el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). Algunas de las clasificaciones pueden ser ocultas, de seguridad, ambientales, operativas o no operativas.

**Criticidad:** el rango de prioridad de un modo de falla basado en un análisis que le permite comprender los riesgos potenciales del activo que podrían afectar su operación.

**Diagrama de Gantt:** un gráfico de barras que proporciona una vista visual de las tareas programadas que muestra la duración y la secuencia de las actividades.

**Estrategia de mantenimiento:** un plan a largo plazo que cubre todos los aspectos de la gestión de mantenimiento de activos y equipos para maximizar el tiempo de actividad de los equipos y el rendimiento de las instalaciones mientras se equilibran los recursos y costos asociados.

**Gestión del rendimiento de activos (APM):** Método de trabajo que brinda la capacidad de capturar y analizar datos operativos y de activos históricos y en tiempo real para reducir costos, mejorar la confiabilidad y disponibilidad de activos físicos.

**Indicadores clave de rendimiento (KPI):** son una serie de medidas clave que permiten medir el rendimiento frente a los objetivos.

**Ingeniería de mantenimiento:** la disciplina y la responsabilidad principal de la persona calificada para garantizar que los procesos de mantenimiento sean efectivos, se mantenga el equipo, se investiguen los problemas técnicos y se mantengan los presupuestos departamentales para lograr una mejor capacidad de mantenimiento, confiabilidad y disponibilidad del equipo.



**Listas de verificación:** es un formulario con una lista de tareas o procedimientos escritos que un técnico debe seguir para garantizar que se hayan completado los procesos adecuados antes de que se cierre una orden de trabajo.

**Mantenibilidad:** La rapidez y facilidad con la que se puede llevar a cabo cualquier actividad de mantenimiento para reparar defectos o determinar la causa de un equipo.

**Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM):** un proceso para determinar el nivel de mantenimiento que se necesita para que una empresa opere de manera efectiva en términos de costo general, disponibilidad de producción, repuestos y otros factores.

**Mantenimiento Correctivo:** Cualquier tarea de mantenimiento que se requiere para corregir una falla que ha ocurrido o está en proceso de ocurrir.

**Mantenimiento diferido:** Aplazamiento de las reparaciones de mantenimiento de la infraestructura y los activos que se retrasan debido a limitaciones presupuestarias y falta de financiación.

**Mantenimiento Lean:** ayuda a identificar y eliminar problemas relacionados con el desperdicio y ofrece mejoras reales en los resultados finales si se implementan y administran de la manera correcta.

**Probabilidad condicional de falla:** la probabilidad de falla de que un elemento específico, como una pieza de equipo, sistema o material, falle en un cierto intervalo de tiempo.

**Reparación y revisión de mantenimiento (MRO):** incluye todas las tareas y materiales necesarios para mantener a una empresa enfocada en su misión principal, que incluye pruebas y reparaciones, así como los suministros y equipos necesarios para mantener todas las tareas individuales, máquinas y equipos en funcionamiento.

**Tiempo medio entre fallas (MTBF):** un KPI que mide la confiabilidad del equipo y la cantidad de tiempo que transcurre entre una falla y la siguiente.

**Tiempo medio entre reparaciones (MTBR):** un KPI que define el tiempo medio de funcionamiento del equipo entre averías o paradas.

**Tiempo medio de reparación (MTR o MTTR):** indicador clave de rendimiento (KPI) que representa el tiempo medio necesario para solucionar problemas y reparar el equipo defectuoso y devolverlo a las condiciones normales de funcionamiento. MTTR brinda a las organizaciones un análisis más preciso de qué tan bien están respondiendo sus equipos a las reparaciones y los problemas del equipo.

**Vida útil del equipo:** el equipo y la maquinaria no durarán para siempre, por lo que es importante comprender las etapas del ciclo de vida de un equipo y dónde reside cada activo dentro del ciclo para evitar el tiempo de inactividad no planificado de los activos.

## **CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA**

### **3.1. Descripción de la experiencia profesional**

La experiencia fue llevada a cabo por Víctor Alexis Marín Perfecto y Edward Robert Vasquez Suazo, quienes desempeñaron el cargo de Coordinadores de Servicio desde enero de 2020. El objetivo principal del cargo es coordinar el cumplimiento de los requisitos de los clientes mediante las acciones y la propuesta de negocio de la organización. Implica administrar el trabajo, resolver los problemas y las quejas de los clientes y garantizar que la imagen de la empresa se mantenga. Entre las principales funciones desempeñadas se encuentran:

- a) Supervisar y asesorar a los técnicos sobre procedimientos de mantenimiento adecuados y eficientes.
- b) Brindar soporte técnico a los técnicos de campo generalmente por teléfono y también en el sitio cuando necesario.
- c) Administrar el horario de trabajo y las asignaciones y supervisa el progreso de las asignaciones.
- d) Actuar como enlace entre los clientes y la empresa.
- e) Planificar la programación de los servicios de acuerdo con las prioridades de los clientes.
- f) Interpretar problemas para los técnicos; evaluar el problema; recomendar equipos para llevar al campo; decidir si reparar o reemplazar el equipo (lo que sea más rentable).
- g) Establecer proveedores para la adquisición y reparación de equipos.
- h) Mantener el control del inventario de piezas.
- i) Determinar los precios de los materiales utilizados y los servicios prestados.

- j) Seguimiento con el cliente para garantizar la satisfacción del usuario con el servicio prestado.
- k) Cumplir con los requisitos de uso, operación, mantenimiento y seguridad adecuados de las maquinarias y equipos de la empresa.

### **3.2. Descripción de la problemática**

La adopción de estrategias de mejora de procesos de negocio es actualmente una preocupación de la mayoría de las organizaciones, ya que el uso de enfoques de mejora de la calidad y el servicio y la búsqueda de los beneficios de esta mejora en la optimización de recursos permite a las organizaciones alcanzar los objetivos de negocio (Zhang et al., 2021). La gestión del mantenimiento también juega un papel importante en el logro del objetivo de mejorar la eficiencia general de los servicios de una organización, ayudando a mantener la continuidad y evitando costosos tiempos de inactividad (Adnan et al., 2021).

En vista de ello, desde hace aproximadamente tres décadas, las empresas se dieron cuenta de que si querían gestionar mantenimiento adecuadamente sería necesario incluirlo en el esquema general de la organización y gestionarla en interacción con otras funciones (Crespo et al., 2009). Una vez logrado esto, el mantenimiento podría recibir la importancia que se merece y desarrollarse como una función más de la organización, que genera productos para satisfacer clientes internos, cumpliendo o contribuyendo al cumplimiento de metas específicas de la organización (Marmo et al., 2020).

Por tanto, el reto de diseñar el modelo ideal para impulsar actividades de mantenimiento se ha convertido en un tema de investigación y una pregunta fundamental para llegar a la eficacia y eficiencia de la gestión del mantenimiento y para cumplir con los objetivos de la empresa (Brundage et al., 2019). En el desarrollo histórico del

mantenimiento, diversos autores han propuesto lo que consideran las mejores prácticas, pasos, secuencias de actividades o modelos para gestionar esta función.

En el caso de la empresa en la que se llevó a cabo la experiencia profesional, en AC-DC Servicios Eléctricos Industriales E.I.R.L., se observaron debilidades relacionadas con la disponibilidad, rendimiento y calidad de las maquinarias y equipos que la empresa utiliza en su proceso productivo y de servicios de mantenimiento de generadores eléctricos; situación que ha generado fallas en los equipos por falta de planeación de los mantenimientos, incumplimiento de los mantenimientos preventivos programados, no se ha capacitado en forma adecuada al personal para hacer mantenimientos autónomos ni se ha medido la eficiencia de los programas que se han aplicado para aplicar el mantenimiento. En la Tabla 2 se hace una relación de los equipos o máquinas empleadas en las actividades de mantenimiento de generadores eléctricos.

Tabla 2. *Fases de la implementación de un plan a partir del mantenimiento centrado en la confiabilidad.*

Actividad	Equipo o maquinaria empleada	Tipo
Traslado de generador al área de reparación	Estoca	Herramienta
Medición de parámetros eléctricos	Multímetro / Megómetro	Herramienta
Desmontaje de piezas	Llaves mixtas	Herramienta
Limpieza en general con presión de aire	Compresora	Máquina
Traslado de piezas al horno	Estoca	Herramienta
Calentamiento del bobinado	Horno eléctrico	Máquina
Traslado de piezas al área de reparación	Estoca	Herramienta
Medición de parámetros eléctricos	Multímetro / Megómetro	Herramienta
Montaje de piezas	Llaves mixtas	Herramienta
Pruebas en general del generador	Banco de carga eléctrico	Máquina

De la misma forma en la Tabla 3 se hace una relación de los equipos o máquinas que se utilizan en el proceso productivo de la organización (tableros eléctricos de baja tensión para el sector industrial y/o comercial):

Tabla 3. *Fases de la implementación de un plan a partir del mantenimiento centrado en la confiabilidad.*

Actividad	Equipo o maquinaria	
	empleada	Tipo
Traslado de planchas al área de soldadura	Estoca	Herramienta
Fabricación de tablero	Máquina de soldar	Maquina
Traslado al área de pintado	Estoca	Herramienta
Pintado en general de las piezas	Compresora de aire	Maquina
Traslado al área de reparación	Estoca	Herramienta
Montaje de piezas	Llaves mixtas	Herramienta
Montaje de accesorios y componentes eléctricos	Llaves mixtas	Herramienta
Cableado eléctrico	Alicates mixtos, prensas terminales	Herramienta
Pruebas en general del tablero	Multímetro eléctrico	Herramienta

Los problemas que se encontraron en la empresa objeto de estudio la colocan en posición de desventaja frente a sus competidores, ya que la falta de mantenimiento hace que no todos los equipos estén disponibles en el momento que se requiera, lo que impacta sobre el nivel de compromiso adquirido con los clientes y su imagen como empresa responsable.

A partir del diagnóstico inicial realizado, mediante el proceso de experiencia profesional en la organización se implementó un programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad, para mejorar la capacidad de respuesta de la empresa, el conocimiento del personal y la toma de decisiones basadas en hechos estadísticos. Es importante hacer notar

que si la empresa no tomaba acciones relacionadas con el mejoramiento de sus procesos de mantenimiento en el corto y mediano plazo vería acrecentar sus problemas y dificultar su posición en el mercado, así como el estado general de las máquinas y equipos los cuales son los principales activos materiales de la organización.

Las debilidades identificadas para diagnosticar la situación problemática fueron las siguientes, las cuales fueron representadas en un Diagrama de Ishikawa (Ver Figura 10):

1. No existen métodos estandarizados para identificar y reportar las fallas.
2. No se realiza un análisis y evaluación de los modos de Falla y sus efectos sobre los resultados de la empresa.
3. No se cumple con las actividades relacionadas con la inspección de equipos.
4. No se cumple con el plan de mantenimiento preventivo programado para los equipos.
5. Parada frecuente de equipos por falta de mantenimiento.
6. No se cuenta con los materiales adecuados para realizar las labores de limpieza y mantenimiento de equipos, lo que limita la capacidad del operador de realizar mantenimiento autónomo.
7. Se genera desperdicio de manera excesiva de los materiales empleados en el mantenimiento.
8. No se han creado los indicadores que permitan evaluar el desempeño de la gestión de mantenimiento.
9. No se ha realizado una documentación adecuada de los procesos relacionados con mantenimiento.
10. No se realiza actividades relacionadas con formación y conocimiento al personal para mejorar sus habilidades y competencias.
11. No se han creado métodos que garanticen la participación del personal en la toma de decisiones relacionadas con la mejora en el área de mantenimiento.

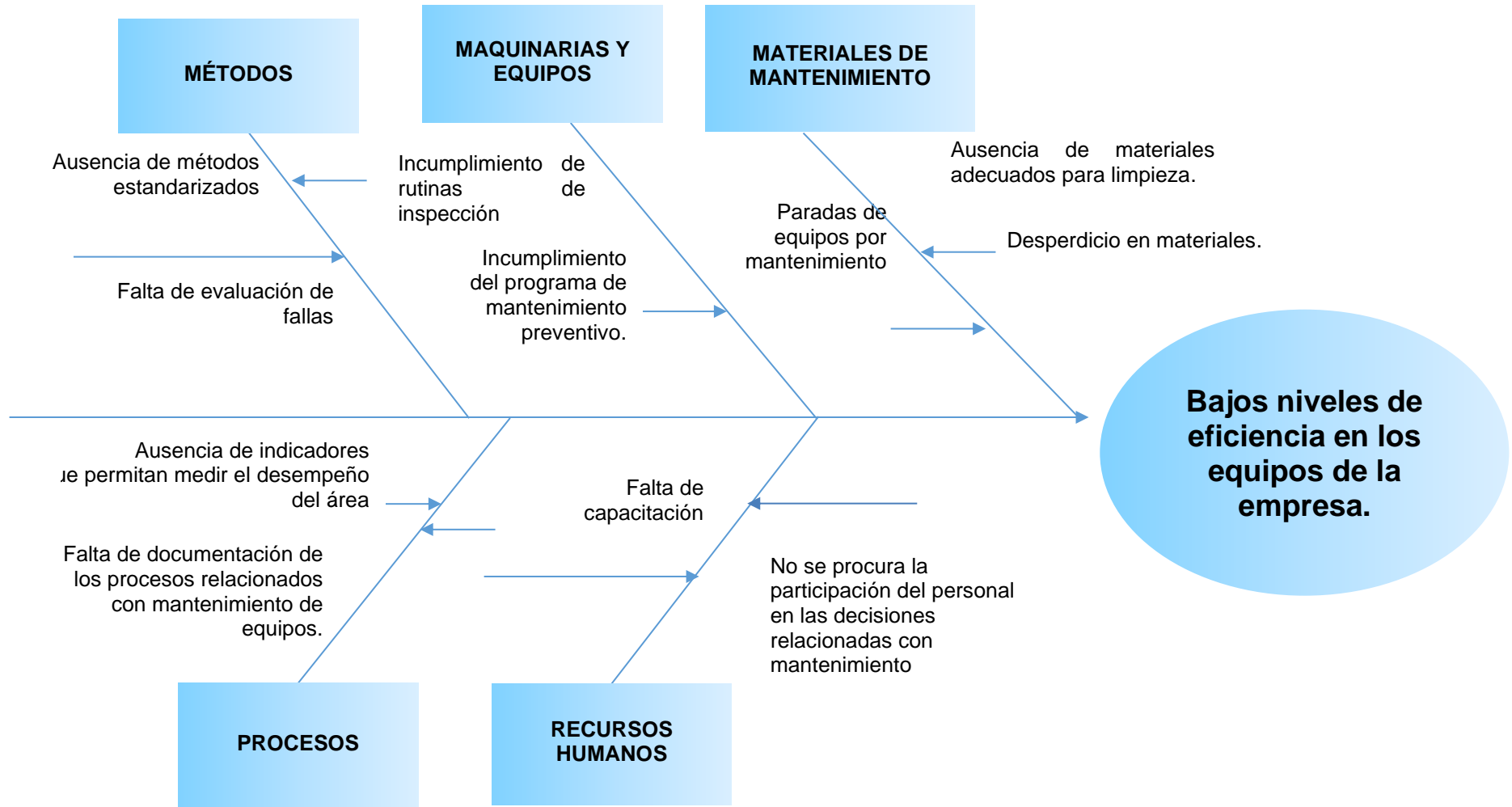


Figura 15. Diagrama de Ishikawa o de causa y efecto de los factores que inciden en los bajos niveles de eficiencia en los equipos de la empresa.



Luego se procedió a un proceso de observación durante tres meses (entre octubre y diciembre de 2020) para medir el nivel de ocurrencia de las fallas detectadas en el análisis anterior y obtener información respecto a los factores críticos que afectan los niveles de eficiencia en el mantenimiento (Tabla 4) a partir de los criterios del Diagrama de Pareto (Ver Figura 11):

Tabla 4. *Frecuencia de ocurrencia de los principales los factores que inciden en los bajos niveles de eficiencia en la gestión de mantenimiento de la empresa.*

Situación detectada	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Porcentaje acumulado
Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.	42	27.3%	27.3%
Incumplimiento de rutinas de inspección.	40	26.0%	53.2%
Ausencia de métodos estandarizados	39	25.3%	78.6%
Paradas de equipos por mantenimiento.	12	7.8%	86.4%
Falta de evaluación de fallas	10	6.5%	92.9%
Ausencia de indicadores.	5	3.2%	96.1%
Falta de documentación.	3	1.9%	98.1%
Falta de capacitación.	2	1.3%	99.4%
Desperdicio en materiales.	1	0.6%	100.0%
Ausencia de materiales adecuados para limpieza.	0	0.0%	100.0%
No se promueve la participación del personal.	0	0.0%	100.0%

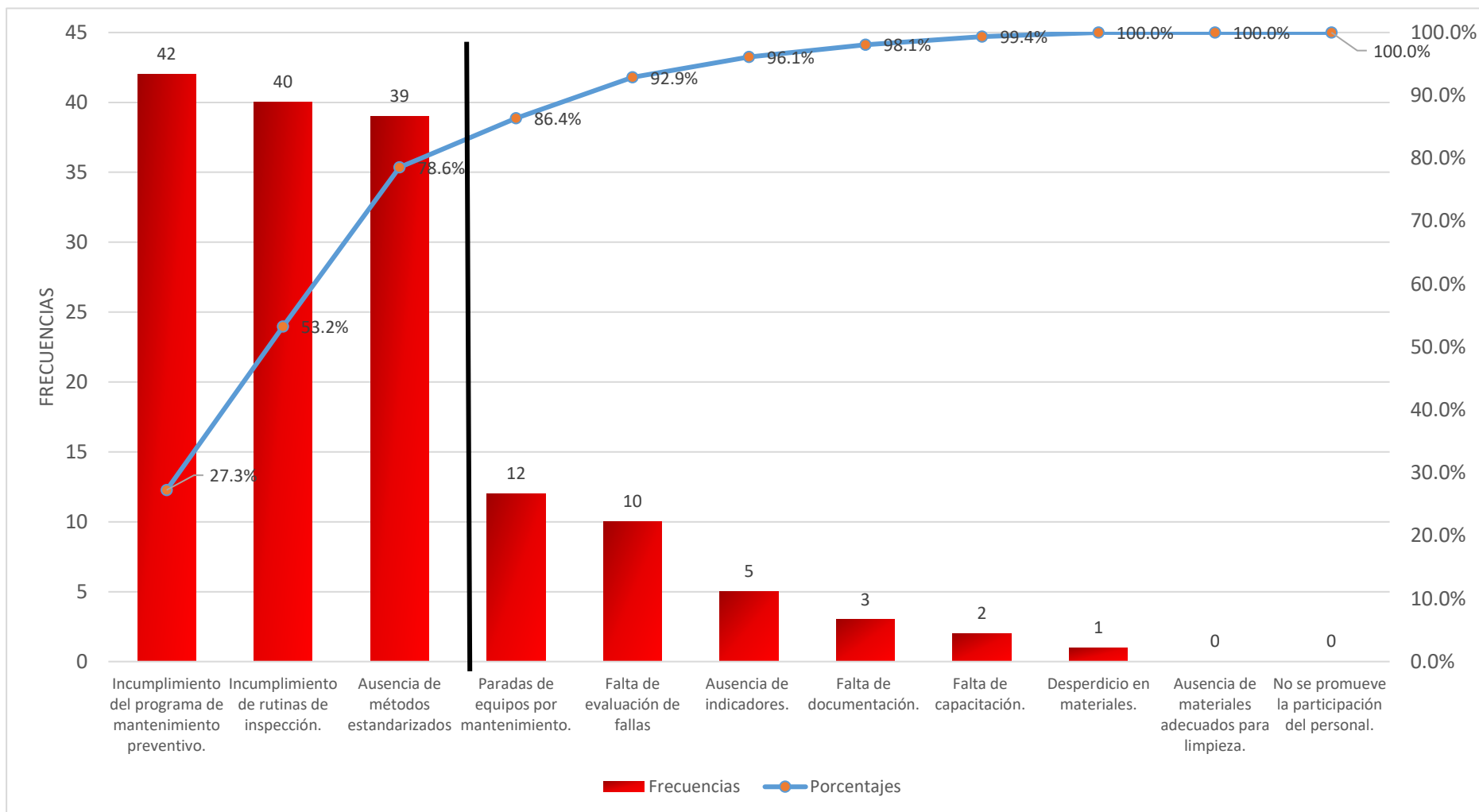


Figura 16. Frecuencia de ocurrencia de los principales factores que inciden en los bajos niveles de eficiencia en la gestión de mantenimiento de la empresa.

### **3.3. Formulación del problema**

#### **3.3.1. Problema General**

¿Cuál es la influencia de la implementación de un plan basado en el mantenimiento centrado en la confiabilidad sobre la eficiencia general de los equipos en la empresa AC-DC Servicios Eléctricos Industriales E.I.R.L.?

#### **3.3.2 Problemas Específicos**

¿Cuál es la situación inicial en la gestión de mantenimiento de maquinarias y equipos de la empresa DC Servicios Eléctricos Industriales E.I.R.L.?

¿Cómo mejorar la eficiencia general de los equipos en la empresa AC-DC Servicios Eléctricos Industriales E.I.R.L. a través de las actividades de mantenimiento?

¿Cuáles son los costos y beneficios de la implementación de un plan basado en el mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la eficiencia general de los equipos en la empresa AC-DC Servicios Eléctricos Industriales E.I.R.L.?

### **3.4. Objetivos de la investigación**

#### **3.4.1. Objetivo general**

Implementar un plan basado en el mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la eficiencia general de los equipos en la empresa AC-DC Servicios Eléctricos Industriales E.I.R.L.

#### **3.4.2. Objetivos específicos**

Diagnosticar la situación inicial en la gestión de mantenimiento de maquinarias y equipos de la empresa AC-DC Servicios Eléctricos Industriales E.I.R.L.

Desarrollar un plan basado en el mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar eficiencia general de los equipos en la empresa AC- DC Servicios Eléctricos Industriales E.I.R.L.

Determinar los costos y beneficios de la implementación de un plan basado en el mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la eficiencia general de los equipos en la empresa AC-DC Servicios Eléctricos Industriales E.I.R.L.

### **3.5. Justificación de la investigación**

#### **3.5.1. Justificación Teórica**

Para la realización del estudio se hizo una revisión de diversos modelos teóricos vinculados con el proceso de mantenimiento, con énfasis en el RCM y la forma como su aplicación influye favorablemente la eficiencia de los equipos. De esta manera, los resultados podrán ser comparados con el componente teórico y ser incluido como referencia en la aplicación práctica de esta metodología en las pequeñas y medianas empresas.

#### **3.5.2. Justificación Práctica**

La relevancia del estudio desde la perspectiva práctica, se encuentra en el hecho de que se le provee a la empresa AC-DC Servicios Eléctricos Industriales E.I.R.L., las herramientas adecuadas para incrementar su eficiencia mediante el mantenimiento, vincular a los trabajadores a los procesos, generar nuevos conocimientos al capital humano, contribuir al mejoramiento de las finanzas mediante la reducción de costos, mejorar los tiempos de operaciones lo que incide directamente sobre la capacidad de respuesta y la satisfacción de los clientes.

### **3.5.3. Justificación Cuantitativa**

La justificación cuantitativa del estudio se encuentra que el análisis inicial permitió reconocer un bajo nivel de cumplimiento en el programa de mantenimiento preventivo (27.3%), así como incumplimiento de las actividades de inspección y la ausencia de métodos estandarizados (25.3%), aspectos que serán tomados en cuenta en el plan de mejoras.

### **3.5.4. Justificación Social**

La investigación es relevante desde la perspectiva social, ya que el uso de la metodología RCM va a contribuir al logro de los objetivos financieros y de mercado de la organización, así como el mejoramiento de las competencias de sus trabajadores, lo que impacta directamente a la comunidad para la cual trabaja y su satisfacción.

### **3.6. Planificación de actividades**

Para el cumplimiento de esta actividad, se identificaron los objetivos del plan y se organizaron las actividades necesarias para el cumplimiento de estos propósitos. Para ello, se diseñó un cronograma que se representa en un diagrama de Gantt en la Figura 12, el cual fue realizado bajo la metodología de mejora continua denominada ciclo de Deming:

- a) Planificar: en esta fase se hizo la identificación de las fallas, la selección de los equipos a mejorar y la planeación de las actividades.
- b) Hacer: se ejecutaron las actividades planificadas en la etapa anterior de acuerdo como el modelo de mantenimiento centrado en la confiabilidad.
- c) Verificar: se desarrollaron los índices posteriores a la implementación para evaluar los cambios en las dimensiones de estudio.
- d) Actuar: se evaluaron las mejoras y se determinaron nuevas oportunidades para el futuro.

ACTIVIDADES	MESES/SEMANAS											
	OCTUBRE 2020				NOVIEMBRE 2020				DICIEMBRE 2020			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Fase I. Planificar</b>												
Definición del modelo de RCM a implementar												
Planificación de actividades de mejora:												
1. Determinación de los equipos con menores niveles de disponibilidad												
2. Definir las características y los sistemas que contienen el equipo seleccionado												
3. Análisis de modo de fallas para los equipos y máquinas de la empresa												
4. Plan de mantenimiento preventivo												
5. Control y seguimiento del plan de mantenimiento												
6. Adquisición de Stock de Repuestos												
7. Capacitación al personal												
Asignación de responsabilidades y plazos de entrega												
Estimación de costos mediante presupuesto de implementación												
<b>Fase II. Hacer</b>												
<b>1. Determinación de los equipos con menores niveles de disponibilidad:</b>												
Cálculo de indicadores base de mantenimiento (confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad).												
Identificación de los equipos con menor disponibilidad.												

ACTIVIDADES	MESES/SEMANAS											
	OCTUBRE 2020				NOVIEMBRE 2020				DICIEMBRE 2020			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>2. Definir las características y los sistemas que contienen el equipo seleccionado</b>												
Identificación de equipos.												
Elaboración de hoja técnica de cada equipo a intervenir												
Elaboración de lista de partes.												
<b>3. Análisis de modo de fallas para los equipos y máquinas de la empresa</b>												
Elaboración del análisis de modo de fallas para los equipos y máquinas de la empresa.												
Elaboración del análisis de fallas para los equipos críticos.												
Determinación de criterios de gravedad												
Determinación de criterios de probabilidad de falla												
Determinación de criterios de detectabilidad de falla												
Evaluación del efecto, la causa de la falla y los controles actuales que utiliza la empresa												
<b>4. Plan de mantenimiento preventivo basado en RCM</b>												
Elaboración de plan de mantenimiento preventivo del equipo 1.												
Elaboración de plan de mantenimiento preventivo del equipo 2.												
<b>5. Control y seguimiento del plan de mantenimiento</b>												
Actividades de control y seguimiento.												
Formatos de control e inspección.												

ACTIVIDADES	OCTUBRE 2020											
	OCTUBRE 2020				NOVIEMBRE 2020				DICIEMBRE 2020			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>6. Adquisición de Stock de Repuestos</b>												
Determinación de inventario												
Cotización de compras.												
<b>7. Capacitación al personal</b>												
Formación en metodología RCM.												
Formación en mecánica básica.												
Formación en mantenimiento de partes electrónicas.												
<b>Fase III. Verificar</b>												
Recolección de datos para evaluar resultados post implementación												
Cálculo y comparación de índice de confiabilidad												
Cálculo y comparación de índice de mantenibilidad												
Cálculo y comparación de índice de disponibilidad												
Cálculo y comparación de índice de OEE												
Estimación del flujo proyectado de caja sin implementación												
Estimación del flujo proyectados de caja con implementación												
Cálculo de los indicadores de costo y beneficio												
<b>Fase IV. Actuar</b>												
Evaluación de resultados con la dirección												

Figura 17. Diagrama de Gantt de la implementación de mejoras basadas en RCM para la gestión de mantenimiento



### 3.7. Identificación del modelo.

Para cumplir la actividad se definieron las acciones que permitieran seguir la metodología RCM de acuerdo con sus principios, lo que se muestra en la Figura 13:

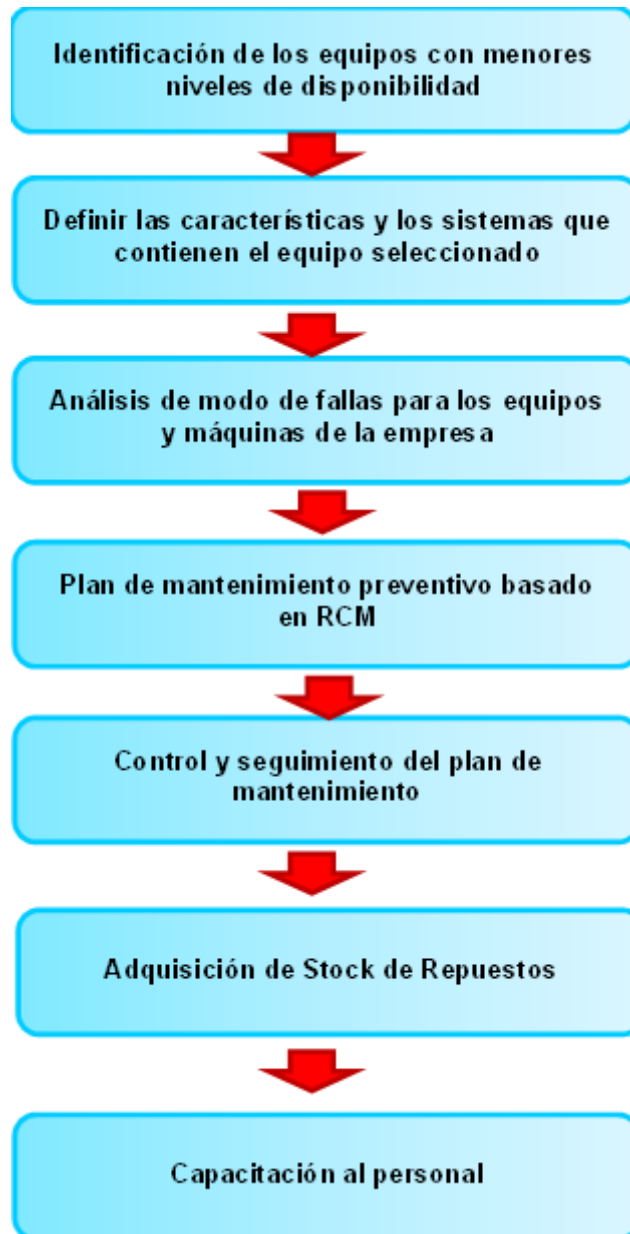


Figura 18. Actividades por implementar para mejorar la gestión de mantenimiento basadas en la metodología RCM

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS

### 4.1. Diagnóstico de la situación inicial en la gestión de mantenimiento de maquinarias y equipos de la empresa DC Servicios Eléctricos Industriales E.I.R.L.

#### 4.1.1. Identificación de los equipos

En la Tabla 5 se hace una relación de todos los equipos que la empresa tiene para realizar sus actividades productivas y de mantenimiento a clientes:

Tabla 5. *Maquinarias y equipos de la empresa.*

Equipo	Descripción
Máquina de soldar Lincoln Electric	Las máquinas de soldar generan calor que funde las piezas metálicas, para que estas piezas puedan unirse. La soldadura con varilla utiliza una corriente eléctrica que fluye desde un espacio entre el metal y la varilla de soldadura (electrodo de soldadura por arco).
Compresora de aire Gardner Denver	Es un dispositivo mecánico utilizado para generar presión en fluidos o gases comprimibles. El más común es el aire. Una variedad de compresores se utilizan en la industria para proporcionar funciones tales como: aire de instrumentos o de taller; accionar herramientas neumáticas, equipos de chorro abrasivo y pulverizadores de pintura; cambio de refrigeración y refrigerantes de aire acondicionado; así como propulsar gases a través de tuberías.
Banco de prueba con carga eléctrica Avtron	Permite a los usuarios probar motores, nuevos o reconstruidos, antes de programar varios departamentos para instalarlos. Lugar central para pruebas trimestrales de herramientas eléctricas. Previene los riesgos de seguridad al realizar verificaciones del motor antes de subirse a un andamio o entrar en un lugar peligrosos.

Equipo	Descripción
Horno eléctrico	Equipo que funciona a temperaturas extremadamente altas para el tratamiento térmico de piezas, metales y componentes de fabricación. Las funciones comunes de un horno industrial son el secado, el curado, las pruebas y el recubrimiento.

A continuación se muestran los equipos que se emplean en el proceso de producción y de mantenimiento de la empresa: (a) Máquina de soldar Lincoln Electric , Figura 14 (b) Compresora de aire Gardner Denver, Figura 15 (c) Banco de prueba con carga eléctrica Avtron, Figura 16 y (d) Horno eléctrico, Figura 17:



Figura 19. Máquina de soldar Lincoln Electric



*Figura 20.* Compresora de aire Gardner Denver



*Figura 21.* Banco de prueba con carga eléctrica Avtron





*Figura 22. Horno eléctrico*

#### **4.1.2. Medición de los indicadores base de mantenimiento y eficiencia general de equipos.**

Una vez identificado los equipos de la organización, se procedió al cálculo de los indicadores base para diagnosticar de manera cuantitativa el estado de la gestión de mantenimiento de los equipos de la empresa y la eficiencia general de equipos. con relación al diagnóstico de la gestión de mantenimiento, esta se realizó con el cálculo de los índices de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, en concordancia con lo planteado en el marco teórico de la investigación. En las Tabla 6 a 9 se muestran los resultados de los indicadores de mantenimiento de los equipos de la empresa durante el año previo a la intervención en la empresa mediante la experiencia profesional:

Tabla 6. *Indicadores de mantenimiento de la máquina de soldar Lincoln Electric - año 2020*

Mes	Horas de operación	Número de fallas	Horas de reparación	Índice de confiabilidad (MTBF)	Índice de mantenibilidad (MTTR)	Índice de disponibilidad
Enero	120	1	2.0	60.00	2.00	0.9677
Febrero	116	-	-	116.00	-	1.0000
Marzo	65	-	-	65.00	-	1.0000
Abril	0	-	-	-	-	-
Mayo	0	-	-	-	-	-
Junio	121	-	-	121.00	-	1.0000
Julio	120	-	-	120.00	-	1.0000
Agosto	136	-	-	136.00	-	1.0000
Setiembre	138	2	2.0	46.00	1.00	0.9718
Octubre	144	-	-	144.00	-	1.0000
Noviembre	132	2	1.0	44.00	0.5	0.9851
Diciembre	133	-	-	133.00	-	1.0000
Totales	1,225	5	5.0	204.17	1.00	0.9951

Tabla 7. *Indicadores de mantenimiento de la compresora de aire Gardner Denver - año 2020*

Mes	Horas de operación	Número de fallas	Horas de reparación	Índice de confiabilidad (MTBF)	Índice de mantenibilidad (MTTR)	Índice de disponibilidad
Enero	138	1.00	1.00	69.00	1.00	0.9857
Febrero	120	-	-	120.00	-	1.0000
Marzo	70	-	-	70.00	-	1.0000
Abril	-	-	-	-	-	-
Mayo	-	-	-	-	-	-
Junio	120	-	-	120.00	-	1.0000
Julio	120	-	-	120.00	-	1.0000
Agosto	136	1.00	1.00	68.00	1.00	0.9855
Setiembre	138	1.00	2.00	69.00	2.00	0.9718
Octubre	144	-	-	144.00	-	1.0000
Noviembre	132	1.00	1.00	66.00	1.00	0.9851
Diciembre	133	2.00	2.00	44.33	1.00	0.9779
Totales	1,251	6	7.0	178.71	1.17	0.9935

Tabla 8. *Indicadores de mantenimiento del banco de prueba con carga eléctrica Avtron - año 2020*

Mes	Horas de operación	Número de fallas	Horas de reparación	Índice de confiabilidad (MTBF)	Índice de mantenibilidad (MTTR)	Índice de disponibilidad
Enero	98	2.00	7.00	32.67	3.50	0.9032
Febrero	104	3.00	9.00	26.00	3.00	0.8966
Marzo	48	-	-	48.00	-	1.0000
Abril	-	-	-	-	-	-
Mayo	-	-	-	-	-	-
Junio	110	2.00	6.00	36.67	3.00	0.9244
Julio	112	-	-	112.00	-	1.0000
Agosto	124	2.00	7.00	41.33	3.50	0.9219
Setiembre	126	2.00	8.00	42.00	4.00	0.9130
Octubre	130	2.00	8.00	43.33	4.00	0.9155
Noviembre	134	3.00	11.00	33.50	3.67	0.9013
Diciembre	138	3.00	10.00	34.50	3.33	0.9119
Totales	1,124	19	66.0	56.20	3.47	0.9418

Tabla 9. *Indicadores de mantenimiento del horno eléctrico - año 2020*

Mes	Horas de operación	Número de fallas	Horas de reparación	Índice de confiabilidad (MTBF)	Índice de mantenibilidad (MTTR)	Índice de disponibilidad
Enero	120	3.00	11.00	30.00	3.67	0.891
Febrero	116	4.00	12.00	23.20	3.00	0.885
Marzo	65	-	-	65.00	-	1.000
Abril	-	-	-	-	-	-
Mayo	-	-	-	-	-	-
Junio	121	4.00	12.00	24.20	3.00	0.890
Julio	120	2.00	5.00	40.00	2.50	0.941
Agosto	136	3.00	7.00	34.00	2.33	0.936
Setiembre	138	4.00	11.00	27.60	2.75	0.909
Octubre	144	3.00	10.00	36.00	3.33	0.915
Noviembre	132	3.00	12.00	33.00	4.00	0.892
Diciembre	133	3.00	12.00	33.25	4.00	0.893
Totales	1,225	29	92.0	40.83	3.17	0.9279

En la Tabla 10 se muestra el resumen de los indicadores de mantenimiento de los equipos del área de producción de la empresa:

Tabla 10. *Indicadores de mantenimiento de los equipos del área de producción de la empresa.*

<b>Nombre del equipo</b>	<b>Índice de confiabilidad (MTBF)</b>	<b>Índice de mantenibilidad (MTTR)</b>	<b>Índice de disponibilidad</b>
Máquina de soldar	204.17	1.00	0.9951
Compresora de aire	178.71	1.17	0.9935
Banco de prueba con carga eléctrica	56.20	3.47	0.9418
Horno eléctrico	40.83	3.17	0.9279

A partir de estas mediciones, se puede indicar que los equipos críticos para la organización que deben formar parte de un plan de mantenimiento son el Banco de pruebas con carga eléctrica (que manifiesta un promedio de parada de cada 56.2 horas y un tiempo promedio de reparación de 3.47 horas, para un índice de disponibilidad de 94.18%) y el horno eléctrico (que manifiesta un promedio de parada de cada 40.8 horas y un tiempo promedio de reparación de 3.17 horas, para un índice de disponibilidad de 92.79%), a la vez que los otros dos equipos mantienen unos índices de mantenimiento aceptables por la organización (99.5% de disponibilidad para la máquina de soldar y 993.3% de disponibilidad para la compresora de aire).

El siguiente indicador fue el cálculo de la eficiencia general de equipos con el que se quiso evaluar la incidencia de las paradas de planta por fallas de equipo sobre los resultados generales de la organización. dicho indicador se obtiene del producto de la medición de la disponibilidad de los equipos, el rendimiento de la planta y la calidad de los productos. en las tablas 11 a 14 se muestran las mediciones de los indicadores base de la disponibilidad de los equipos de la empresa:



Tabla 11. *Indicadores de disponibilidad OEE de los equipos del área de producción de la empresa.*

Mes	Tiempo de producción planificado (horas)	Paradas planificadas (horas)	Paradas no planificadas (horas)	Total tiempos de paradas	Total Tiempo de ejecución	Indicador de disponibilidad
Máquina de soldar Lincoln Electric	1,225.00	40.00	5.00	45.00	1,180.00	0.963
Compresora de aire Gardner Denver	1,251.00	8.00	7.00	15.00	1,236.00	0.988
Banco de prueba con carga eléctrica Avtron	1,124.00	30.00	66.00	96.00	1,028.00	0.915
Horno eléctrico	1,225.00	30.00	92.00	122.00	1,103.00	0.900
<b>Total</b>	<b>4,825.00</b>	<b>108.00</b>	<b>170.00</b>	<b>278.00</b>	<b>4,547.00</b>	<b>0.942</b>

Nota: a diferencia de los indicadores de mantenimiento, el indicador de disponibilidad OEE toma en cuenta las paradas tanto planificadas como no planificadas, por lo que el indicador muestra con mayor exactitud la disponibilidad de los equipos. los resultados muestran red de igual manera que los equipos con los menores indicadores de disponibilidad son el Banco de prueba con carga eléctrica Avtron (96 horas de paradas para un índice de disponibilidad de 91.50%) y el horno eléctrico (122 horas de paradas para un índice de disponibilidad de 90.00%). con estos resultados se obtiene una disponibilidad general de equipos del 94.2%.

En la Tabla 12 se muestran los resultados de la medición del rendimiento de la organización en su área de producción:

Tabla 12. *Indicadores de rendimiento para la eficiencia general de equipos de la empresa – año 2020.*

Mes	Tiempo de producción planificado (minutos)	Tiempo estándar de fabricación (minutos)	Producción teórica o planificada (unidades)	Producción real (unidades)	Indicador de rendimiento
Enero	10,800.00	240.00	45.00	42.00	0.933
Febrero	10,260.00	240.00	43.00	38.00	0.884
Marzo	5,400.00	240.00	22.00	20.00	0.909
Abril	-	-	-	-	-
Mayo	-	-	-	-	-
Junio	11,340.00	240.00	47.00	45.00	0.957
Julio	11,880.00	240.00	50.00	46.00	0.920
Agosto	11,880.00	240.00	50.00	47.00	0.940
Setiembre	10,800.00	240.00	45.00	43.00	0.956
Octubre	11,340.00	240.00	47.00	44.00	0.936
Noviembre	11,340.00	240.00	47.00	42.00	0.894
Diciembre	11,880.00	240.00	50.00	41.00	0.820
	106,920.00	2,400.00	446.00	408.00	0.915

Los resultados muestran que del total de unidades programadas (446) se produjeron 408, con lo que el rendimiento del área de producción de la empresa se ubica en 91.5%. En la Tabla 13 se muestra los resultados de la medición de los niveles de calidad durante el año anterior a la experiencia profesional, medido entre el nivel de productos elaborados y el nivel de productos aceptados conformes por los clientes:

Tabla 13. *Indicadores de calidad para la eficiencia general de equipos de la empresa – año 2020.*

Mes	Producción total (unidades)	Producción con defectos (unidades)	Producción sin defectos (unidades)	Indicador de calidad
Enero	42.00	-	42.00	1.000
Febrero	38.00	1.00	37.00	0.974
Marzo	20.00	-	20.00	1.000
Abril	-	-	-	-
Mayo	-	-	-	-
Junio	45.00	-	45.00	1.000
Julio	46.00	1.00	45.00	0.978
Agosto	47.00	2.00	45.00	0.957
Setiembre	43.00	-	43.00	1.000
Octubre	44.00	-	44.00	1.000
Noviembre	42.00	1.00	41.00	0.976
Diciembre	41.00	-	41.00	1.000
	408.00	5.00	403.00	0.988

Los resultados muestran que del total de unidades elaboradas (408) cinco manifestaron defectos de producción, con lo que la calidad del área de producción de la empresa se ubica en 98.8%. en la Tabla 14 se presenta el cálculo de la eficiencia general de los equipos de la empresa:

Tabla 14. *Cálculo de la eficiencia general de los equipos de la empresa – año 2020.*

<b>Indicador</b>	<b>Resultado</b>
Disponibilidad	0.9420
Rendimiento	0.9150
Calidad	0.9880
Indicador OEE	0.8515

De esta manera se determina el indicador base para el cálculo de la eficiencia general de los equipos de la empresa es de 85.15%

## 4.2. Desarrollo de un plan basado en el mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar eficiencia general de los equipos en la empresa AC-DC Servicios Eléctricos Industriales E.I.R.L.

### 4.2.1. Identificación de los equipos a intervenir en el plan RCM

En esta fase se realizó la codificación y el listado de todos los sistemas y subsistemas, que componen los equipos críticos de la empresa AC-DC Servicios Eléctricos Industriales E.I.R.L. Dicho código está conformado por cinco dígitos. Los dos primeros corresponden a las iniciales del nombre del equipo y los tres últimos corresponden al número interno asignado por la empresa (Ver Tabla 15).

Tabla 15. *Codificación de los equipos críticos de la empresa AC-DC Servicios Eléctricos Industriales E.I.R.L.*

Equipos	Codificación
Banco de prueba con carga eléctrica Avtron	BP-001
Horno eléctrico	HE-001

*Nota:* se detalla los códigos de cada equipo de planta

Tabla 16. *Sistemas y subsistemas del Banco de prueba con carga eléctrica Avtron*

EQUIPO	SISTEMA	SUBSISTEMA
Banco de prueba con carga eléctrica Avtron	Control	Panel de control
	Eléctrico	Transformador
		Control eléctrico
	Ventilación	Ventilador

*Nota:* se detalla el equipo con sus sistemas y subsistemas

Tabla 17. *Sistemas y subsistemas del Horno eléctrico*

<b>EQUIPO</b>	<b>SISTEMA</b>	<b>SUBSISTEMA</b>
Horno eléctrico	Control	Potenciómetro
		Indicador de temperatura
	Eléctrico	Cable de alimentación
		Contactores eléctricos
	Potencia	Resistencias eléctricas

*Nota:* se detalla el equipo con sus sistemas y subsistemas

Luego, en las Tablas 18 y 18 se procedió a elaborar las fichas técnicas de los equipos críticos de la empresa AC-DC Servicios Eléctricos Industriales E.I.R.L.

Tabla 18. *Ficha técnica del Banco de prueba con carga eléctrica Avtron.*

**AC-DC SERVICIOS ELÉCTRICOS INDUSTRIALES E.I.R.L.**

**FICHA TÉCNICA DE EQUIPO**

(BPA-01)

<b>Banco de prueba con carga eléctrica Avtron.</b>	
Capacidad de prueba	5, 10, 10, 25, 50, 100 KW
Panel de control	Electrónico 120 V, 60 Hz
Total de Potencia	200 KW
Tipo de motor	Trifásico
Voltaje	230 V
Frecuencia	60 Hz
Controles	Conmutador eléctrico
Sistema de enfriamiento	Ventilador trifásico
Peso Neto	225 Kg
Dimensiones	(1422 x 867x 1242 mm)
Presión de sonido (LPA)	85 Db (A)

Tabla 19. *Ficha técnica del Horno eléctrico*

---

**AC-DC SERVICIOS ELÉCTRICOS INDUSTRIALES E.I.R.L.**

**FICHA TECNICA DE EQUIPO**

(HE-001)

---

**Horno eléctrico**

---

Potencia	5 – 200 KW
Voltaje	480 V
Frecuencia	60 Hz
Controles	Conmutador manual
Peso Neto	1800 Kg
Dimensiones	(1m x 1m x 1 m)

---

A continuación, se presentan las listas de partes de los equipos críticos de la empresa AC-DC Servicios Eléctricos Industriales E.I.R.L. en la Tabla 20 la lista de partes del Banco de prueba con carga eléctrica Avtron y en la Tabla 21 la lista de partes del horno eléctrico.

Tabla 20. Lista de partes del Banco de prueba con carga eléctrica Avtron.

**AC-DC SERVICIOS ELÉCTRICOS INDUSTRIALES E.I.R.L.**

**FICHA TÉCNICA DE EQUIPO**

(BP-001)



Elemento	Descripción
1	Panel de control
2	Indicador Led
3	Caja de conexiones
4	Ventilador
5	Transformador
6	Banco de resistencias
7	Gabinete



Tabla 21. *Lista de partes del Horno eléctrico*

**AC-DC SERVICIOS ELÉCTRICOS INDUSTRIALES E.I.R.L.**

**FICHA TÉCNICA DE EQUIPO**

(HE-001)



Elemento	Descripción
1	Contactores
2	Resistencias
3	Cuerpo del horno
4	Compuerta
5	Panel de control

**4.2.2. Identificación de las funciones de los sistemas y los sub-sistemas de los equipos a intervenir en el plan RCM**

En la Tabla 22 se muestra el listado de funciones de los sistemas y los sub-sistemas del Banco de prueba con carga eléctrica Avtron y en la Tabla 22 las del horno eléctrico:

Tabla 22. *Listado de funciones de los sistemas y los sub-sistemas del Banco de prueba con carga eléctrica Avtron.*

EQUIPO	SISTEMA	SUBSISTEMA
<p>Banco de prueba con carga eléctrica Avtron.: Permite a los usuarios probar motores, nuevos o reconstruidos, antes de programar varios departamentos para instalarlos. Lugar central para pruebas trimestrales de herramientas eléctricas. Previene los riesgos de seguridad al realizar verificaciones del motor antes de subirse a un andamio o entrar en un lugar peligroso.</p>	<p>Control: El sistema control permite la visualización y control de las pruebas realizadas y el encendido de los distintos elementos del banco de prueba.</p>	<p>Panel de control: Caja que contiene los botones de encendido, de selección de voltajes, amperajes y la pantalla led para visualizar los valores que se utilizan en las distintas pruebas.</p>
	<p>Eléctrico: Elementos del banco de prueba que permiten energizar y transmitir la corriente requerida por el mismo.</p>	<p>Transformador: permite obtener el voltaje requerido por el panel de control.</p>
	<p>Ventilación: Elementos del banco de prueba que permiten enfriar los componentes durante la realización de la prueba</p>	<p>Control eléctrico: Controla el encendido y movimiento del motor a probar y del ventilador del equipo</p>
		<p>Ventilador eléctrico: Genera el paso del aire para enfriar el banco de prueba.</p>

*Nota:* se detalla las funciones de los sistemas del Banco de prueba con carga eléctrica Avtron y sus sub-sistemas

Tabla 23. *Listado de funciones de los sistemas y los sub-sistemas del Horno eléctrico.*

EQUIPO	SISTEMA	SUBSISTEMA
Horno eléctrico: Equipo eléctrico que funciona a temperaturas extremadamente altas para el tratamiento térmico de piezas	Control: Elementos de del Horno que permiten el control y visualización de la temperatura interna del mismo, para realizar el proceso de tratamiento térmico.	Regulador de temperatura o potenciómetro: permite controlar la potencia de las resistencias eléctricas del horno para de esta manera alcanzar la temperatura de trabajo (120 °)
		Indicador de temperatura: Permite visualizar la temperatura interna del horno para realizar el tratamiento térmico.
		Cable de alimentación: permite conducir la energía eléctrica desde la fuente de alimentación eléctrica de primaria hasta las resistencias.
		Contactor eléctrico: Controla el encendido de la resistencias
	Potencia: Elementos del horno que general el calor del horno	Resistencias eléctricas: Producen calor mediante el paso de la corriente eléctrica.

*Nota:* se detalla las funciones de los sistemas del horno eléctrico y sus sub-sistemas

#### **4.2.3. Determinación de los fallos funcionales de los sistemas de los equipos críticos en las operaciones de la empresa AC-DC Servicios Eléctricos Industriales E.I.R.L.**

En las tablas 24 y 25 se presentan las listas de fallas de los sistemas en los equipos críticos (*Banco de prueba con carga eléctrica Avtron y Horno eléctrico*)

Tabla 24. *Listado de fallas de los sistemas del Banco de prueba con carga eléctrica Avtron*  
- año 2020

Fecha	Sistema	Descripción de la falla o parada de equipo
15/01/2020	Eléctrico	Banco eléctrico, no funciona (no enciende)
21/01/2020	Eléctrico	Indicador de falla se activa, a pesar de que el sistema funciona con normalidad
08/02/2020	Eléctrico	No regula la carga eléctrica, luego de activar los interruptores
11/02/2020	Eléctrico	No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco
19/02/2020	Control	No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco
12/06/2020	Eléctrico	Indicador de falla se activa, a pesar de que el sistema funciona con normalidad
21/06/2020	Eléctrico	No regula la carga eléctrica, luego de activar los interruptores
18/08/2020	Eléctrico	No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco
23/08/2020	Eléctrico	Banco eléctrico, no funciona (no enciende)
03/09/20	Eléctrico	No regula la carga eléctrica, luego de activar los interruptores
17/09/20	Eléctrico	No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco
10/10/20	Control	No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco
22/10/20	Eléctrico	Banco eléctrico, no funciona (no enciende)
04/11/20	Eléctrico	Indicador de falla se activa, a pesar de que el sistema funciona con normalidad
09/11/20	Eléctrico	No regula la carga eléctrica, luego de activar los interruptores
21/11/20	Eléctrico	No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco
01/12/20	Eléctrico	Banco eléctrico, no funciona (no enciende)
08/12/20	Eléctrico	Banco eléctrico, no funciona (no enciende)
19/12/20	Eléctrico	No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco

Tabla 25. *Listado de fallas de los sistemas del Horno eléctrico - año 2020*

Fecha	Sistema	Descripción de la falla o parada de equipo
06/01/20	Eléctrico	Horno no funciona
11/01/20	Eléctrico	No regula la temperatura de trabajo
28/01/20	Eléctrico	Horno no funciona
03/02/20	Eléctrico	No regula la temperatura de trabajo
09/02/20	Potencia	Horno no alcanza temperatura de trabajo (120 °C)
15/02/20	Potencia	Horno no alcanza temperatura de trabajo (120 °C)
27/02/20	Control	Indicador de estado de funcionamiento, no funciona
11/06/20	Potencia	Horno no alcanza temperatura de trabajo (120 °C)
16/06/20	Control	Indicador de estado de funcionamiento, no funciona
22/06/20	Eléctrico	No regula la temperatura de trabajo
28/06/20	Potencia	Horno no alcanza temperatura de trabajo (120 °C)
02/07/20	Control	Indicador de estado de funcionamiento, no funciona
14/07/20	Eléctrico	No regula la temperatura de trabajo
04/08/20	Eléctrico	Horno no funciona
09/08/20	Eléctrico	No regula la temperatura de trabajo
26/08/20	Potencia	Horno no alcanza temperatura de trabajo (120 °C)
01/09/20	Potencia	Horno no alcanza temperatura de trabajo (120 °C)
10/09/20	Control	Indicador de estado de funcionamiento, no funciona
17/09/20	Eléctrico	No regula la temperatura de trabajo
21/09/20	Potencia	Horno no alcanza temperatura de trabajo (120 °C)
05/10/20	Control	Indicador de estado de funcionamiento, no funciona
14/10/20	Potencia	Horno no alcanza temperatura de trabajo (120 °C)
23/10/20	Control	Indicador de estado de funcionamiento, no funciona
02/11/20	Eléctrico	No regula la temperatura de trabajo
11/11/20	Control	Indicador de estado de funcionamiento, no funciona
18/11/20	Eléctrico	No regula la temperatura de trabajo
04/12/20	Eléctrico	Horno no funciona
11/12/20	Eléctrico	No regula la temperatura de trabajo
22/12/20	Potencia	Horno no alcanza temperatura de trabajo (120 °C)

#### 4.2.4. Identificación de los modos de fallo o causas de cada uno de los fallos encontrados en la fase anterior

Tabla 26. Listado de causas de fallas de los sistemas del Banco de prueba con carga eléctrica Avtron - año 2020

Sistema	Descripción de la falla	Causa de la falla
Eléctrico	Banco eléctrico, no funciona (no enciende)	Selector eléctrico se encuentra en mal estado
Eléctrico	Banco eléctrico, no funciona (no enciende)	Cable de conexión eléctrica se encuentran en mal estado (circuito abierto)
Control	No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco	Panel de control en mal estado
Eléctrico	No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco	Resistencias eléctricas se encuentran inoperativas (circuito abierto)
Eléctrico	No regula la carga eléctrica, luego de activar los interruptores	Interruptor eléctrico averiado
Eléctrico	No regula la carga eléctrica, luego de activar los interruptores	Resistencia eléctrica en mal estado (circuito abierto)
Eléctrico	Indicador de falla se activa, a pesar de que el sistema funciona con normalidad	Transformador de voltaje, se encuentra en mal estado (lectura incorrecta)

Tabla 27. *Listado de causas de fallas de los sistemas del Horno eléctrico- año 2020*

Sistema	Descripción de la falla	Causa de la falla
Eléctrico	Horno no funciona	Fusibles en mal estado (quemados, no continuidad)
Eléctrico	Horno no funciona	Interruptor de encendido en mal estado (no acciona)
Potencia	Horno no alcanza temperatura de trabajo (120 °C)	Resistencias dañadas (abierto, no continuidad)
Control	No regula la temperatura de trabajo	Potenciómetro (regulador) de temperatura (manual) en mal estado
Eléctrico	No regula la temperatura de trabajo	Falso contacto eléctrico en los terminales eléctricos
Control	Indicadores de estado de funcionamiento, no funciona	Lámparas (led) se encuentran inoperativos (quemados)
Control	Indicadores de estado de funcionamiento, no funciona	Falso contacto en los terminales eléctricos

#### 4.2.5. Elaboración de la matriz de análisis del modo y efecto de fallas (AMEF)

La siguiente actividad consistió en la organización de la información respecto a los efectos de fallas en cada uno de los equipos críticos (Ver Tablas 28 y 29):

Tabla 28. *Listado de efectos de fallas de los sistemas del Banco de prueba con carga eléctrica Avtron*

Sistema	Modo de falla	Efecto de la falla
Eléctrico	Banco eléctrico, no funciona (no enciende)	Imposibilidad de hacer la prueba. Parada del equipo.
Eléctrico	Banco eléctrico, no funciona (no enciende)	Imposibilidad de hacer la prueba. Parada del equipo.
Control	No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco	Imposibilidad de hacer la prueba. Parada del equipo.
Eléctrico	No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco	Imposibilidad de hacer la prueba. Parada del equipo.
Eléctrico	No regula la carga eléctrica, luego de activar los interruptores	Imposibilidad de hacer la prueba. Parada del equipo.
Eléctrico	No regula la carga eléctrica, luego de activar los interruptores	Imposibilidad de hacer la prueba. Parada del equipo.
Eléctrico	Banco eléctrico, no funciona (no enciende)	Imposibilidad de hacer la prueba. Parada del equipo.



Tabla 29. *Listado de efecto de falla de los sistemas del Horno eléctrico- año 2020*

Sistema	Modo de falla	Efecto de la falla
Eléctrico	Horno no funciona	Imposibilidad de hacer el calentamiento de piezas. Parada del equipo
Eléctrico	Horno no funciona	Imposibilidad de hacer el calentamiento de piezas
Potencia	Horno no alcanza temperatura de trabajo (120 °C)	Mal calentamiento. Parada del equipo
Control	No regula la temperatura de trabajo	Mal calentamiento. Parada del equipo
Eléctrico	No regula la temperatura de trabajo	Mal calentamiento. Parada del equipo.
Control	Indicadores de estado de funcionamiento, no funciona	Imposibilidad de hacer el calentamiento. Parada del equipo
Control	Indicadores de estado de funcionamiento, no funciona	Imposibilidad de hacer el calentamiento. Parada del equipo

*Nota:* se detalla modos de falla de los sus sub-sistemas

Seguidamente, se procedió a evaluar el efecto, la causa de la falla y los controles actuales que utiliza la empresa, en base a la gravedad (S), Probabilidad de ocurrencia (O) y la Detectabilidad (D). Para esto el comité de RCM analiza cada falla y asigna un valor numérico representativo utilizando las tablas de gravedad, probabilidad y detección que se presentan a continuación: Tabla 30 (evaluación de la gravedad de falla (S) para la realización del AMEF); Tabla 31 (evaluación de Probabilidad de falla (O) para la realización del AMEF) y Tabla 32 (evaluación de Detectabilidad de falla (D) para la realización del AMEF)

Tabla 30. *Criterios de evaluación de la gravedad de falla (S) para la realización del AMEF.*

Gravedad	Criterio	Valor
Muy Alta	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta el funcionamiento de seguridad del producto o proceso y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias. Si tales incumplimientos son graves corresponde un 10	9-10
Alta	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado.	7-8
Moderada	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en el proceso.	4-6
Baja	El tipo de fallo originaria un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, éste observara un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable	2-3
Muy Baja	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema.	1

Tabla 31. *Criterios de evaluación de Probabilidad de falla (O) para efectuar el AMEF.*

Frecuencia	Criterio	Valor
Muy Alta	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente	9-10
Alta	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado.	6-8
Moderada	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o previos al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente/sistema.	4-5
Baja	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos. Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda.	2-3
Muy Baja	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos, ni se ha dado nunca en el pasado, pero es concebible	1

Tabla 32. *Criterios de evaluación de la Detectabilidad de falla (D) para la realización del AMEF.*

Detectabilidad	Criterio	Valor
Improbable	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente final	9-10
Pequeña	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento.	7-8
Mediana	El defecto es detectable y posiblemente no llegue al cliente. Posiblemente se detecte en los últimos estadios de producción	4-6
Alta	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posteriori.	2-3
Muy Alta	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes	1

Tabla 33. *Evaluación de Gravedad (S), Frecuencia (O) y Detectabilidad (D) y controles actuales de las fallas en el Banco de prueba con carga eléctrica Avtron.*

Modos de fallo	Efecto	S	Causa	O	Controles	D
Banco eléctrico, no funciona (no enciende)	Imposibilidad de hacer la prueba. Parada del equipo.	7	Selector eléctrico se encuentra en mal estado	7	Inspección Correctivo	6
Banco eléctrico, no funciona (no enciende)	Imposibilidad de hacer la prueba. Parada del equipo.	7	Cable de conexión eléctrica se encuentran en mal estado (circuito abierto)	5	Inspección Correctivo	4
No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco	Imposibilidad de hacer la prueba. Parada del equipo.	9	Panel de control en mal estado	5	Inspección Correctivo	4
No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco	Imposibilidad de hacer la prueba. Parada del equipo.	7	Resistencias eléctricas se encuentran inoperativas (circuito abierto)	4	Inspección Correctivo	3
No regula la carga eléctrica, luego de activar los interruptores	Imposibilidad de hacer la prueba. Parada del equipo.	7	Interruptor eléctrico averiado	4	Inspección Correctivo	5
No regula la carga eléctrica, luego de activar los interruptores	Imposibilidad de hacer la prueba. Parada del equipo.	7	Resistencia eléctrica en mal estado (circuito abierto)	4	Inspección Correctivo	4
Banco eléctrico, no funciona (no enciende)	Imposibilidad de hacer la prueba. Parada del equipo.	7	Transformador de voltaje, se encuentra en mal estado (lectura incorrecta)	4	Inspección Correctivo	5

Tabla 34. *Evaluación de Gravedad (S), Frecuencia (O) y Detectabilidad (D) y controles actuales de las fallas en el Horno eléctrico.*

Modos de fallo	Efecto	S	Causa	O	Controles	D
Horno no funciona	Imposibilidad de hacer el calentamiento de piezas. Parada del equipo	6	Fusibles en mal estado (quemados, no continuidad)	6	Inspección Correctivo	4
Horno no funciona	Imposibilidad de hacer el calentamiento de piezas	7	Interruptor de encendido en mal estado (no acciona)	4	Inspección Correctivo	4
Horno no alcanza temperatura de trabajo (120 °C)	Mal calentamiento. Parada del equipo	8	Resistencias dañadas (abierto, no continuidad)	6	Inspección Correctivo	5
No regula la temperatura de trabajo	Mal calentamiento. Parada del equipo	7	Potenciómetro (regulador) de temperatura (manual) en mal estado	5	Inspección Correctivo	4
No regula la temperatura de trabajo	Mal calentamiento. Parada del equipo.	6	Falso contacto eléctrico en los terminales eléctricos	6	Inspección Correctivo	5
Indicadores de estado de funcionamiento, no funciona	Imposibilidad de hacer el calentamiento de piezas. Parada del equipo	4	Lámparas (led) se encuentran inoperativos (quemados)	5	Inspección Correctivo	5
Indicadores de estado de funcionamiento, no funciona	Imposibilidad de hacer el calentamiento de piezas. Parada del equipo	4	Falso contacto en los terminales eléctricos	6	Inspección Correctivo	5

Con los valores obtenidos en la tabla anterior se calcula el número de probabilidad de riesgo de la falla (NPR), el cual se obtiene de la siguiente ecuación:

$$NPR = S * O * D$$

Tabla 35. Probabilidad de riesgo de las fallas en el Banco de prueba con carga eléctrica

Avtron

Modos de fallo	S	O	D	NPR
Banco eléctrico, no funciona (no enciende)	7	7	6	294
Banco eléctrico, no funciona (no enciende)	7	5	4	140
No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco	9	5	4	180
No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco	7	4	3	84
No regula la carga eléctrica, luego de activar los interruptores	7	4	5	140
No regula la carga eléctrica, luego de activar los interruptores	7	4	4	112
Banco eléctrico, no funciona (no enciende)	7	4	5	140

Tabla 36. Probabilidad de riesgo de las fallas en el Horno eléctrico

Modos de fallo	S	O	D	NPR
Horno no funciona	6	6	4	144
Horno no funciona	7	4	4	112
Horno no alcanza temperatura de trabajo (120 °C)	8	6	5	240
No regula la temperatura de trabajo	7	5	4	140
No regula la temperatura de trabajo	6	6	5	180
Indicadores de estado de funcionamiento, no funciona	4	5	5	100
Indicadores de estado de funcionamiento, no funciona	4	6	5	120

#### 4.2.6. Plan de medidas preventivas

En esta fase se determinan las medidas preventivas que eviten o minimicen los efectos de los fallos a través de la hoja de decisión.

Una vez obtenidos los respectivos NPR, el grupo de trabajo procedió a analizar las acciones a tomar para la corrección de los modos de falla que presentan los equipos críticos de la empresa y los responsables de dichas acciones.

Tabla 37. *Acciones recomendadas para disminuir el riesgo de las fallas en el Banco de prueba con carga eléctrica Avtron*

Modos de fallo	Acciones	Responsable (s)
Banco eléctrico, no funciona (no enciende)	Sustituir el selector eléctrico. Inspección trimestral.	Operador eléctrico.
Banco eléctrico, no funciona (no enciende)	Cambie el cable de alimentación. Inspección mensual	Operador eléctrico
No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco	Reparación o sustitución del panel de control. Inspección diaria.	Operador electrónico. Operador del banco de pruebas.
No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco	Sustituir las resistencias eléctricas dañadas. Inspección mensual.	Operador eléctrico.
No regula la carga eléctrica, luego de activar los interruptores	Sustituir el interruptor eléctrico. Inspección semestral	Operador eléctrico
No regula la carga eléctrica, luego de activar los interruptores	Sustituir las resistencias eléctricas dañadas. Inspección mensual.	Operador eléctrico
Banco eléctrico, no funciona (no enciende)	Cambiar el transformador eléctrico averiado. Inspección trimestral	Operador eléctrico

Tabla 38. *Acciones recomendadas para disminuir el riesgo de las fallas en el Horno Eléctrico.*

<i>Modos de fallo</i>	<i>Acciones</i>	<i>Responsable (s)</i>
Horno no funciona	Cambiar fusibles. Inspección diaria.	Operador eléctrico Operador del horno.
Horno no funciona	Cambiar interruptor de encendido. Inspección semanal	Operador eléctrico Operador del horno
Horno no alcanza temperatura de trabajo (120 °C)	Sustituir resistencias dañadas. Inspección mensual	Operador eléctrico
No regula la temperatura de trabajo	Cambiar regulador de temperatura. Inspección diaria	Operador eléctrico Operador del horno
No regula la temperatura de trabajo	Limpieza de terminales eléctricos. Inspección mensual	Operador eléctrico Operador del horno
Indicadores de estado de funcionamiento, no funciona	Sustituir lámparas led. Inspección trimestral	Operador electrónico.
Horno no funciona	Limpieza de terminales eléctricos. Inspección mensual.	Operador eléctrico Operador del horno

#### **4.2.7. Plan de mantenimiento preventivo**

Agrupación de las medidas preventivas en sus diferentes categorías. Elaboración del Plan de Mantenimiento, lista de mejoras, procedimientos de operación y de mantenimiento. La frecuencia y las acciones del plan de mantenimiento preventivo de los equipos críticos de la empresa AC-DC Servicios Eléctricos Industriales E.I.R.L. se elaboraron luego de haber completado y analizado la hoja de decisión del RCM que se diseñó en la fase 5 del RCM.



Tabla 39. *Plan de mantenimiento preventivo para disminuir el riesgo de las fallas en el Banco de prueba con carga eléctrica Avtron.*

<b>AC-DC Servicios Eléctricos Industriales E.I.R.L.</b>	<b><i>Plan de mantenimiento preventivo Banco de prueba con carga eléctrica Avtron</i></b>
<b><i>FRECUENCIA: CADA VEZ QUE SE UTILICE</i></b>	<b><i>RESPONSABLE</i></b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Inspección visual.</li> <li>2. Inspección de Ruidos.</li> <li>3. Inspección de funcionamiento.</li> <li>4. Limpieza del equipo</li> <li>5. Llenar el reporte de inspección diaria.</li> </ol>	<p>Operador del equipo</p>
<b><i>FRECUENCIA: TRIMESTRAL</i></b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Retire los paneles y pantallas de acceso.</li> <li>2. Inspeccione las resistencias de carga en busca de averías mecánicas que se demuestren por exceso hundimiento de los elementos. Reemplace con nuevos elementos de resistencia, varillas de soporte y aisladores.</li> <li>3. Inspeccione si hay aisladores cerámicos rotos. Reemplace con nuevos aisladores de cerámica si hay grietas se encuentran. Las astillas menores (menos de 1/8" de diámetro) son aceptables y no son motivo de reemplazo.</li> <li>4. Inspeccione si hay piezas o conexiones sueltas. Apriete donde sea necesario.</li> <li>5. Inspeccione todas las conexiones en busca de oxidación o corrosión. Limpie la conexión o reemplace el hardware donde sea necesario.</li> <li>6. Verifique que el interruptor de flujo de aire funcione correctamente.</li> <li>7. Inspeccione todos los contactores para asegurarse de que los contactos no estén severamente picados o corroídos. Los contactos deben moverse libremente y estar correctamente asentados.</li> </ol>	<p>Técnico eléctrico Técnico electrónico</p>

- 
8. Limpie toda la suciedad y los desechos del banco de carga.  
Esto se puede lograr soplando el dentro de la unidad con aire comprimido limpio y seco.
  9. Inspeccione todo el cableado en busca de cualquier signo de falla del aislamiento, especialmente donde el cableado está cerca de caja de resistencia chapa o barra de soporte del elemento o clip.
  10. Se debe tener cuidado al reparar o reemplazar los transformadores de corriente. Si se descubre que uno es defectuoso, marque todos los cables antes de quitarlos para asegurarse de conectar nuevos C.T. correctamente, ya que la fase adecuada es importante. Técnico eléctrico  
Técnico electrónico
  11. Inspeccione si hay señales de tensión térmica en las conexiones. Esto podría deberse a que está suelto hardware o conexión corroída. Repare o reemplace según lo amerite la condición.
  12. Vuelva a colocar todos los paneles y pantallas de acceso.  
Apriete todo el hardware de sujeción de forma segura.
  13. Revise las luces indicadoras en el panel de control y reemplácelas según sea necesario.

---

Nota: Las acciones recomendadas serán realizadas de acuerdo con los procedimientos del manual de mantenimiento del fabricante del equipo.

Tabla 40. *Plan de mantenimiento preventivo para disminuir el riesgo de las fallas en el Horno eléctrico.*

<b>AC-DC Servicios Eléctricos Industriales E.I.R.L.</b>	<b>Plan de mantenimiento preventivo Horno eléctrico.</b>
<b>FRECUENCIA: DIARIA</b>	<b>RESPONSABLE (S)</b>
1. Inspección visual.	
2. Inspección de Ruidos.	
3. Inspección de funcionamiento.	Operador del equipo
4. Limpieza del equipo	
5. Llenar el reporte de inspección diaria.	
<b>FRECUENCIA: SEMANAL</b>	
1. Inspección y limpiezas de conexiones eléctricas	
2. Inspección de ruidos	
3. Inspección de funcionamiento	Técnico eléctrico.
4. Inspección de resistencias eléctricas (Visual y medición de Ohmios)	
5. Llenar el reporte de inspección semanal	
<b>FRECUENCIA: TRIMESTRAL</b>	
1. Inspección de potenciómetro	
2. Inspección de indicador de temperatura y verificación.	Técnico electrónico.
3. Llenar el reporte de inspección trimestral.	

Nota: Las acciones recomendadas serán realizadas de acuerdo con el manual de mantenimiento del fabricante.

#### **4.2.8. Puesta en marcha de las medidas preventivas**

Después de analizar y aprobar todas las fases anteriormente descritas, se realizaron los trabajos de mantenimiento preventivo en los equipos críticos de la empresa AC-DC Servicios Eléctricos Industriales E.I.R.L. y se realiza el respectivo ajuste de la probabilidad de riesgo luego de poner en marcha el plan de mantenimiento.

Tabla 41. *Probabilidad de riesgo de las fallas luego de las acciones correctivas en el Banco de prueba con carga eléctrica Avtron*

<b>Modos de fallo</b>	<b>Acciones</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>D</b>	<b>NPR</b>
Banco eléctrico, no funciona (no enciende)	Sustituir el selector eléctrico. Inspección trimestral.	7	5	3	105
Banco eléctrico, no funciona (no enciende)	Cambie el cable de alimentación. Inspección mensual	7	3	2	42
No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco	Reparación o sustitución del panel de control. Inspección diaria.	9	3	2	54
No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco	Sustituir las resistencias eléctricas dañadas. Inspección mensual.	7	2	2	28
No regula la carga eléctrica, luego de activar los interruptores	Sustituir el interruptor eléctrico. Inspección semestral	7	2	3	42
No regula la carga eléctrica, luego de activar los interruptores	Sustituir las resistencias eléctricas dañadas. Inspección mensual.	7	2	2	28
Banco eléctrico, no funciona (no enciende)	Cambiar el transformador eléctrico averiado. Inspección trimestral	7	2	3	42

Tabla 42. *Probabilidad de riesgo de las fallas luego de las acciones correctivas en el Horno eléctrico*

<b>Modos de fallo</b>	<b>Acciones</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>D</b>	<b>NPR</b>
Horno no funciona	Cambiar fusibles. Inspección diaria.	6	2	2	24
Horno no funciona	Cambiar interruptor de encendido. Inspección semanal	7	2	2	28
Horno no alcanza temperatura de trabajo (120 °C)	Sustituir resistencias dañadas. Inspección mensual	8	3	2	48
No regula la temperatura de trabajo	Cambiar regulador de temperatura. Inspección diaria	7	2	2	28
No regula la temperatura de trabajo	Limpieza de terminales eléctricos. Inspección mensual	6	3	2	36
Indicadores de estado de funcionamiento, no funciona	Sustituir lámparas led. Inspección trimestral	4	2	2	16
Horno no funciona	Limpieza de terminales eléctricos. Inspección mensual.	4	3	2	24

Como se puede observar en las tabla anteriores, los NPR de los modos de falla analizados, disminuyen notablemente en los equipos críticos de la empresa AC-DC Servicios Eléctricos Industriales E.I.R.L. luego de la toma de las acciones preventivas, las cuales se desarrollaron en base a una inspección continua de los equipos por parte de los operarios y técnicos de mantenimiento y el cambio de partes defectuosas en los equipos, lo cual permite menos paradas y que las fallas presentadas se detecten durante las inspecciones del mantenimiento preventivo.

### 4.3. Medición de los indicadores posteriores de mantenimiento y eficiencia general de equipos.

Una vez llevada a cabo el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad en los equipos de la empresa, se procedió al cálculo de los indicadores posteriores para evaluar de manera cuantitativa el estado de la gestión de mantenimiento de los equipos de la empresa y la eficiencia general de equipos una vez implementados los cambios. Con relación a la gestión de mantenimiento, esta se realizó con el cálculo de los índices de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad. En las Tabla 43 a 46 se muestran los resultados de los indicadores de mantenimiento de los equipos de la empresa durante el año posterior a la intervención en la empresa mediante la experiencia profesional:

Tabla 43. *Indicadores de mantenimiento de la máquina de soldar Lincoln Electric - año 2021*

Mes	Horas de operación	Número de fallas	Horas de reparación	Índice de confiabilidad (MTBF)	Índice de mantenibilidad (MTTR)	Índice de disponibilidad
Enero	122	-	-	122.00	-	1.0000
Febrero	118	1	2.0	59.00	2.00	0.9672
Marzo	120	-	-	120.00	-	1.0000
Abril	124	-	-	124.00	-	1.0000
Mayo	124	1	2.0	62.00	2.00	0.9688
Junio	120	-	-	120.00	-	1.0000
Julio	122	-	-	122.00	-	1.0000
Agosto	132	-	-	132.00	-	1.0000
Setiembre	130	1	1.0	65.00	1.00	0.9848
Octubre	138	-	-	138.00	-	1.0000
Noviembre	140	-	-	140.00	-	1.0000
Diciembre	126	-	-	126.00	-	1.0000
Totales	1,516	5	5.0	252.67	1.00	0.9961

Tabla 44. *Indicadores de mantenimiento de la compresora de aire Gardner Denver - año 2021*

Mes	Horas de operación	Número de fallas	Horas de reparación	Índice de confiabilidad (MTBF)	Índice de mantenibilidad (MTTR)	Índice de disponibilidad
Enero	122	-	-	122.00	-	1.0000
Febrero	118	-	-	118.00	-	1.0000
Marzo	120	-	-	120.00	-	1.0000
Abril	124	1.00	1.00	62.00	1.00	-
Mayo	124	1.00	1.00	62.00	1.00	-
Junio	132	-	-	132.00	-	1.0000
Julio	144	-	-	144.00	-	1.0000
Agosto	132	1.00	2.00	66.00	2.00	0.9706
Setiembre	144	-	-	144.00	-	1.0000
Octubre	138	1.00	1.00	69.00	1.00	0.9857
Noviembre	140	1.00	1.00	70.00	1.00	0.9859
Diciembre	126	1.00	1.00	63.00	1.00	0.9844
Totales	1,564	6	7.0	223.43	1.17	0.9948

Tabla 45. *Indicadores de mantenimiento del banco de prueba con carga eléctrica Avtron - año 2021 (equipo intervenido en el plan de mejoras).*

Mes	Horas de operación	Número de fallas	Horas de reparación	Índice de confiabilidad (MTBF)	Índice de mantenibilidad (MTTR)	Índice de disponibilidad
Enero	116	1.00	3.00	58.00	3.00	0.9508
Febrero	104	1.00	4.00	52.00	4.00	0.9286
Marzo	120	-	-	120.00	-	1.0000
Abril	112	-	-	112.00	-	-
Mayo	112	-	-	112.00	-	-
Junio	120	-	-	120.00	-	1.0000
Julio	122	-	-	122.00	-	1.0000
Agosto	116	-	-	116.00	-	1.0000
Setiembre	112	1.00	3.00	56.00	3.00	0.9492
Octubre	104	-	-	104.00	-	1.0000
Noviembre	108	-	-	108.00	-	1.0000
Diciembre	104	-	-	104.00	-	1.0000
Totales	1,350	3	10.0	337.50	3.33	0.9902

Tabla 46. *Indicadores de mantenimiento del horno eléctrico - año 2021 (equipo intervenido en el plan de mejoras).*

Mes	Horas de operación	Número de fallas	Horas de reparación	Índice de confiabilidad (MTBF)	Índice de mantenibilidad (MTTR)	Índice de disponibilidad
Enero	102	-	-	102.00	-	1.000
Febrero	108	-	-	108.00	-	1.000
Marzo	110	1.00	2.00	55.00	-	1.000
Abril	114	-	-	114.00	-	-
Mayo	116	-	-	116.00	-	-
Junio	112	1.00	2.00	56.00	2.00	0.966
Julio	122	-	-	122.00	-	1.000
Agosto	132	1.00	2.00	66.00	2.00	0.971
Setiembre	120	-	-	120.00	-	1.000
Octubre	112	-	-	112.00	-	1.000
Noviembre	108	1.00	3.00	54.00	3.00	0.947
Diciembre	106	3.00	-	26.50	-	1.000
Totales	1,362	7	9.0	170.25	1.29	0.9925

En la Tabla 47 se muestra el resumen de los indicadores de mantenimiento de los equipos del área de producción de la empresa:

Tabla 47. *Indicadores de mantenimiento de los equipos del área de producción de la empresa posterior a la implementación*

Nombre del equipo	Índice de confiabilidad (MTBF)	Índice de mantenibilidad (MTTR)	Índice de disponibilidad
Máquina de soldar	252.67	1.00	0.9961
Compresora de aire	223.43	1.17	0.9948
Banco de prueba con carga eléctrica	337.50	3.33	0.9902
Horno eléctrico	170.25	1.29	0.9925

Los resultados mostrados en la tabla 47 indican que todos los equipos de la organización se encuentran por encima del 99% de disponibilidad, lo que contribuye al incremento de la productividad, la disminución de horas de parada por mantenimientos no



planificados, y la contribución a la calidad del producto final al disminuir la probabilidad de una falla en el acabado por fallas en el equipo. en la tabla 48 se muestran las variaciones antes y después de la implementación en los equipos de la empresa:

Tabla 48. *Variaciones en los indicadores de mantenimiento de los equipos del área de producción de la empresa antes y después de la implementación.*

<b>Nombre del equipo</b>	<b>Índice de disponibilidad anterior (2020)</b>	<b>Índice de disponibilidad posterior (2021)</b>	<b>Variación</b>
Máquina de soldar	0.9951	0.9961	0.10%
Compresora de aire	0.9935	0.9948	0.13%
Banco de prueba con carga eléctrica*	0.9418	0.9902	5.14%
Horno eléctrico*	0.9279	0.9925	6.96%

Nota: los equipos identificados con (\*) fueron los que formaron parte de la intervención mediante mantenimiento centrado en la confiabilidad, ya que no cumplía con los requisitos de disponibilidad establecidos por la organización (inferior al 95%).

El siguiente indicador fue el cálculo de la eficiencia general de equipos con el que se quiso evaluar la incidencia de las paradas de planta por fallas de equipo sobre los resultados generales de la organización una vez cumplido el programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad en el Banco de prueba de carga y el horno eléctrico. Dicho indicador se obtiene del producto de la medición de la disponibilidad de los equipos, el rendimiento de la planta y la calidad de los productos. En la tabla 49 se muestra las mediciones de los indicadores posteriores de la disponibilidad de los equipos de la empresa:

Tabla 49. *Indicadores de disponibilidad OEE posteriores de los equipos del área de producción de la empresa – año 2021.*

Mes	Tiempo de producción planificado (horas)	Paradas planificadas (horas)	Paradas no planificadas (horas)	Total tiempos de paradas	Total Tiempo de ejecución	Indicador de disponibilidad
Máquina de soldar Lincoln Electric	1,516.00	48.00	5.00	53.00	1,463.00	0.965
Compresora de aire Gardner Denver	1,564.00	8.00	7.00	15.00	1,549.00	0.990
Banco de prueba con carga eléctrica Avtron	1,350.00	24.00	10.00	34.00	1,316.00	0.975
Horno eléctrico	1,362.00	36.00	9.00	45.00	1,317.00	0.967
Total	5,792.00	116.00	31.00	147.00	5,645.00	0.975

Nota: a diferencia de los indicadores de mantenimiento, el indicador de disponibilidad OEE toma en cuenta las paradas tanto planificadas como no planificadas, por lo que el indicador muestra con mayor exactitud la disponibilidad de los equipos. Los resultados muestran que se logró incrementar la disponibilidad del Banco de prueba con carga eléctrica a 97.5% y el horno eléctrico a 96.7%

En la tabla 50 se muestran los resultados de la medición del rendimiento de la organización en su área de producción una vez realizada la implementación de la metodología RCM:

Tabla 50. *Indicadores de rendimiento para la eficiencia general de equipos de la empresa – año 2021.*

Mes	Tiempo de producción planificado (minutos)	Tiempo estándar de fabricación (minutos)	Producción teórica o planificada (unidades)	Producción real (unidades)	Indicador de rendimiento
Enero	10,600.00	240.00	44.00	42.00	0.955
Febrero	10,180.00	240.00	43.00	39.00	0.907
Marzo	10,160.00	240.00	42.00	41.00	0.976
Abril	10,120.00	240.00	42.00	41.00	0.976
Mayo	10,160.00	240.00	42.00	42.00	1.000
Junio	11,240.00	240.00	46.00	45.00	0.978
Julio	11,640.00	240.00	48.00	46.00	0.958
Agosto	11,640.00	240.00	48.00	47.00	0.979
Setiembre	11,060.00	240.00	46.00	43.00	0.935
Octubre	11,120.00	240.00	46.00	44.00	0.957
Noviembre	11,120.00	240.00	46.00	42.00	0.913
Diciembre	11,320.00	240.00	47.00	41.00	0.872
	130,360.00	2,880.00	540.00	513.00	0.950

Los resultados muestran que del total de unidades programadas (540) se produjeron 413, con lo que el rendimiento del área de producción de la empresa se ubica en 95%, lo que indica un incremento del 3.5% con relación al rendimiento inicial antes de la implementación (91.5%). En la Tabla 51 se muestra los resultados de la medición de los niveles de calidad durante el año posterior a la experiencia profesional, medido entre el nivel de productos elaborados y el nivel de productos aceptados conformes por los clientes:

Tabla 51. *Indicadores de calidad para la eficiencia general de equipos de la empresa – año 2021.*

Mes	Producción total (unidades)	Producción con defectos (unidades)	Producción sin defectos (unidades)	Indicador de calidad
Enero	42.00	-	42.00	1.000
Febrero	39.00	-	39.00	1.000
Marzo	41.00	-	41.00	1.000
Abril	41.00	1.00	40.00	-
Mayo	42.00	-	42.00	-
Junio	45.00	-	45.00	1.000
Julio	46.00	-	46.00	1.000
Agosto	47.00	1.00	46.00	0.979
Setiembre	43.00	1.00	42.00	0.977
Octubre	44.00	-	44.00	1.000
Noviembre	42.00	1.00	41.00	0.976
Diciembre	41.00	-	41.00	1.000
	513.00	4.00	509.00	0.992

Los resultados muestran que del total de unidades elaboradas (513) solamente cuatro manifestaron defectos de producción, con lo que la calidad del área de producción de la empresa se ubica en 99.2%. en la Tabla 52 se presenta el cálculo de la eficiencia general de los equipos de la empresa:

Tabla 52. *Cálculo de la eficiencia general de los equipos de la empresa – año 2021.*

<b>Indicador</b>	<b>Resultado</b>
Disponibilidad	0.975
Rendimiento	0.950
Calidad	0.992
Indicador OEE	0.9188

De esta manera se determina el indicador posterior para el cálculo de la eficiencia general de los equipos de la empresa es de 91.88%, lo que indica un incremento en la OEE

posterior a la implementación en 6.96%, ya que la OEE inicial era de 85.15%. en la Tabla 53 se muestran las variaciones de la OEE antes y después de la implementación:

Tabla 53. *Variaciones en el indicador de eficiencia general de equipos (OEE) del área de producción de la empresa antes y después de la implementación.*

<b>Dimensión</b>	<b>Índice de OEE anterior (2020)</b>	<b>Índice de OEE posterior (2021)</b>	<b>Variación</b>
Disponibilidad	0.9420	0.975	3.50%
Rendimiento	0.9150	0.950	3.83%
Calidad	0.9880	0.992	0.40%
Total	0.8515	0.9188	6.96%

Nota: la intervención realizada sobre los equipos mediante el plan RCN permitió una variación notable en la disponibilidad de los equipos y en el rendimiento de las operaciones con lo que se alcanzó una variación general en la eficiencia general de equipo del 6.96%

#### **4.4. Determinación de los costos y beneficios de la implementación de un plan basado en el mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la eficiencia general de los equipos en la empresa DC Servicios Eléctricos Industriales E.I.R.L.**

Para determinar costos y beneficios, la recolección de se hizo de la siguiente forma:

- a) En la Tabla 54 se hizo una proyección de los flujos de efectivo para los cinco años inmediatos a la implementación bajo condición de que no se hubiese llevado a cabo ninguna mejora a la gestión de mantenimiento de la empresa.
- b) En la tabla 55 se calculó el pronóstico del flujo de efectivo para los próximos cinco años tomando en cuenta en las mejoras obtenidas en la reducción de costos de operación y de mantenimiento con la implementación del RCM.

- c) En la tabla 56 se calcularon los índices financieros necesarias para determinar el flujo de caja incremental y la relación costo beneficio.
- d) En la tabla 57 se calcularon los resultados del tiempo de recuperación de la inversión, así como la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actualizado neto (VAN).
- e) Para los cálculos se tomaron en cuenta las siguientes premisas: crecimiento económico de la empresa interanual de 8% a partir del segundo año.
- f) En relación con la Tasa de Descuento (WACC, siglas en inglés de Weighted Average Cost of Capital, o costo promedio ponderado de capital), esta representa el costo de capital de una entidad, ya sea una empresa, un fondo de inversión o una persona, por lo que se si puede invertir su capital en algo con una tasa de rendimiento superior al WACC, entonces puede generar un exceso de rendimiento.

Tabla 54. *Determinación del flujo de efectivo proyectado sin implementación*

<b>FLUJO DE EFECTIVO PROYECTADO SIN IMPLEMENTACIÓN</b>						
	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>
<b>INGRESOS</b>						
Unidades vendidas		432.00	466.00	503.00	543.00	586.00
Precio de venta		5,350.00	5,450.00	5,560.00	5,670.00	5,780.00
Ingresos por ventas		2,311,200	2,539,700	2,796,680	3,078,810	3,387,080
Ingresos por servicios		288,900	317,463	349,585	384,851	423,385
<b>TOTAL INGRESOS</b>		<b>2,600,100</b>	<b>2,857,163</b>	<b>3,146,265</b>	<b>3,463,661</b>	<b>3,810,465</b>
<b>EGRESOS</b>						
Costos operacionales		1,508,058	1,658,864	1,824,750	2,007,225	2,207,948
Costos de mantenimiento de equipos		165,886	179,157	193,490	208,969	225,687
Gastos de administración y ventas		78,003	85,715	94,388	103,910	114,314
Gastos generales		39,002	42,857	47,194	51,955	57,157
<b>TOTAL EGRESOS</b>		<b>1,790,949</b>	<b>1,966,593</b>	<b>2,159,822</b>	<b>2,372,059</b>	<b>2,605,105</b>
Utilidad bruta		809,151	890,569	986,443	1,091,602	1,205,360
Impuesto a la Renta (29.5%)		238,700	262,718	291,001	322,023	355,581
Utilidad neta		570,452	627,851	695,442	769,580	849,779
Flujos de inversión		-	-	-	-	-
<b>Flujo neto económico</b>		<b>570,452</b>	<b>627,851</b>	<b>695,442</b>	<b>769,580</b>	<b>849,779</b>

*Nota:* Para la elaboración del flujo de efectivo proyectado sin implementación, los niveles al cierre del año 2019 como referencia para el año 1 de implementación. En la tabla se reflejan los ingresos estimados de modo tal que, no se hubiese realizado ninguna implementación a la empresa para poder determinar las variaciones incrementales después de la implementación.

Tabla 55. Determinación del flujo de efectivo proyectado sin implementación

<b>FLUJO DE EFECTIVO PROYECTADO SIN IMPLEMENTACIÓN</b>						
	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>
<b>INGRESOS</b>						
Unidades vendidas		432.00	466.00	503.00	543.00	586.00
Precio de venta		5,350.00	5,450.00	5,560.00	5,670.00	5,780.00
Ingresos por ventas		2,311,200	2,539,700	2,796,680	3,078,810	3,387,080
Ingresos por servicios		288,900	317,463	349,585	384,851	423,385
<b>TOTAL INGRESOS</b>		<b>2,600,100</b>	<b>2,857,163</b>	<b>3,146,265</b>	<b>3,463,661</b>	<b>3,810,465</b>
<b>EGRESOS</b>						
Costos operacionales		1,469,057	1,614,297	1,777,640	1,956,969	2,152,913
Costos de mantenimiento de equipos		125,164	137,538	151,455	166,734	183,428
Gastos de administración y ventas		78,003	85,715	94,388	103,910	114,314
Gastos generales		39,002	42,857	47,194	51,955	57,157
<b>TOTAL EGRESOS</b>		<b>1,711,225</b>	<b>1,880,407</b>	<b>2,070,677</b>	<b>2,279,567</b>	<b>2,507,812</b>
Utilidad bruta		888,875	976,755	1,075,588	1,184,094	1,302,653
Impuesto a la Renta (29.5%)		262,218	288,143	317,299	349,308	384,283
Utilidad neta		626,657	688,612	758,290	834,786	918,370
Flujos de inversión		-	-	-	-	-
<b>Flujo neto económico</b>		<b>626,657</b>	<b>688,612</b>	<b>758,290</b>	<b>834,786</b>	<b>918,370</b>

*Nota:* En esta tabla se refleja el flujo de efectivo proyectados para los próximos 5 años posteriores a la implementación, como referencia para el año 1 se utilizaron los resultados obtenidos en el primer año de la implementación, en los que se refleja una notable disminución de los costos adicionales por accidentes laborales, los cuales favorecen en la disminución de los egresos y en el incremento del flujo neto económico. El flujo de inversión queda reflejado todo al inicio de la proyección, ya que toda la inversión fue realizada durante el año 2020.



Tabla 56. *Determinación del flujo incremental para obtener el costo y beneficio de la propuesta*

	<b>AÑO 0</b>	<b>AÑO 1</b>	<b>AÑO 2</b>	<b>AÑO 3</b>	<b>AÑO 4</b>	<b>AÑO 5</b>
<b>INGRESOS ADICIONALES</b>		-	-	-	-	-
<b>EGRESOS OPERACIONALES (INCREMENTAL) (CON PY-SIN PROY)</b>		-79,724	-86,186	-89,145	-92,492	-97,293
<b>INVERSIÓN</b>	69,800					
<b>FLUJO DE CAJA INCREMENTAL</b>	-69,800	79,724	86,186	89,145	92,492	97,293
<b>TASA DE DESCUENTO (WAAC)</b>	<b>15%</b>					
<b>VAN</b>	224,564					
<b>TIR</b>	117%					
<b>B/C</b>	<b>BENEFICIOS</b>	294,364				
	<b>COSTOS</b>	69,800				
<b>B/C</b>	4.22					

*Nota:* Como resultado de la comparación de los ingresos y egresos de los escenarios presentados en las tablas anteriores y sin implementación, se obtienen los ingresos y egresos operacionales adicionales, los cuales al ser comparados con la inversión, permiten obtener el flujo de caja incremental, el valor actualizado neto, la tasa interna de retorno y la relación costo beneficio, en la cual se expresa un beneficio de 3.95 soles por cada sol invertido, ya que los costos de inversión son menores al beneficio esperado en los próximos cinco años.

Tabla 57. *Determinación del tiempo de retorno de la inversión prevista para la implementación*

<b>PB</b>	<b>AÑO 0</b>	<b>AÑO 1</b>	<b>AÑO 2</b>	<b>AÑO 3</b>	<b>AÑO 4</b>	<b>AÑO 5</b>
<b>FLUJO DE CAJA ACTUALIZADO</b>	<b>-69,800</b>	69,325	65,169	58,615	52,883	48,372
<b>FLUJO ACUMULADO</b>		-475				
EN 12 MESES	69,325					
EN X MESES	69,800					
<b>X</b>	<b>12.1</b>					

**PB TIEMPO DE RECUPERO DE LA INVERSIÓN = 12.1 MESES**

*Nota:* El payback o tiempo de retorno y/o recuperación de la inversión, se estima en 14.5 meses, ya que se obtuvo un flujo favorable de caja actualizado en el primer año por un monto de S/. 11,237 mientras que la inversión realizada fue de S/. 13,600

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1. El objetivo general de la experiencia profesional fue implementar un plan basado en el mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la eficiencia general de los equipos en la empresa AC-DC Servicios Eléctricos Industriales E.I.R.L., el cual se logró, ya que con la aplicación de la metodología referida en los dos equipos de mayor criticidad en la empresa, se logró incrementar la disponibilidad de dichos equipos (banco de pruebas con carga eléctrica de 94.1% hasta 97.5%, para una mejora de 6.6% y horno eléctrico de 92.8% hasta 97.5%, para una mejora de 4.7%). Asimismo, la eficiencia general de equipos de la planta se incrementó de 85.1% antes hasta llegar a 91.2%, para una variación del 6.9%, lo que permitió además el incremento del rendimiento en la planta en un 3.8%. En relación con los objetivos específicos se concluye lo siguiente:
2. Se diagnosticó la situación inicial en la gestión de mantenimiento de maquinarias y equipos de la empresa AC-DC Servicios Eléctricos Industriales E.I.R.L.: con el uso adecuado de herramientas de ingeniería para el diagnóstico y mejora de procesos, se identificó que los principales problemas relacionados con la gestión de mantenimiento eran los siguientes: (a) Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo; (b) incumplimiento de rutinas de inspección y (c) ausencia de métodos estandarizados, los que incidían sobre la disponibilidad de los equipos y la eficiencia general del área de producción.
3. Con estos hallazgos se procedió a desarrollar un plan basado en el mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar eficiencia general de los equipos en la empresa AC- DC Servicios Eléctricos Industriales E.I.R.L. que incluyó:

- (a) determinación de los equipos con menores niveles de disponibilidad; (b) definir las características y los sistemas que contienen el equipo seleccionado; (c) análisis de modo de fallas para los equipos y máquinas de la empresa; (d) plan de mantenimiento preventivo y (e) control y seguimiento del plan de mantenimiento.
4. El último objetivo específico consistió en determinar los costos y beneficios de la implementación de un plan basado en el mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la eficiencia general de los equipos en la empresa AC-DC Servicios Eléctricos Industriales E.I.R.L. y de esta manera validar la propuesta. De esto se concluye que con una inversión de S/. 69,800, se estimó un valor actualizado neto (VAN) de S/ 224,564 y una tasa interna de retorno (TIR) de 117%, para demostrar que la propuesta es viable desde el punto de vista financiero. Asimismo, el tiempo de retorno y/o recuperación de la inversión, se estima en 14.5 meses, ya que se obtuvo un flujo favorable de caja actualizado a partir del segundo año.
5. En lo que se refiere a las lecciones aprendidas, se mencionan las siguientes:
- a) Uso de indicadores de gestión como herramienta que permite la mejora en las organizaciones, la evaluación de los procesos y la toma de decisiones acertadas.
  - b) De igual manera, fue importante el uso de herramientas de diagnóstico provistas por la Ingeniería Industrial como herramientas para la mejora y para la comunicación de los resultados.
  - c) Liderar un equipo para sacar el máximo provecho de ellos no se trata solo de poseer habilidades técnicas, también se requieren habilidades específicas relacionadas con el trato a las personas, como una alta inteligencia emocional.
  - d) El éxito en la implementación de planes de mantenimiento está relacionado estrechamente con los costos de mantenimiento, ya que un equilibrado control

de los costos de mantenimiento planificados y ejecutados, es un elemento clave para asegurar la disponibilidad de los equipos y contribuir con la competitividad de la empresa.

6. En cuanto a las competencias desarrolladas, es importante destacar las siguientes:
  - a) Liderazgo: en priorizar tareas, administrar cronogramas y hacer coincidir las habilidades de los empleados con las tareas apropiadas del proyecto.
  - b) Gestión de recursos, para alcanzar los objetivos del estudio en niveles de eficiencia y eficacia aceptables para la organización.
  - c) Solución de problemas, para evaluar las situaciones correctamente, tomar buenas decisiones y actuar con rapidez.
  - d) Trabajo en equipo: para aclarar malentendidos que podrían no comunicarse a las personas y podrían afectar negativamente a todo el equipo.
  - e) Análisis de datos: para contribuir con la eficiencia de la organización mediante el registro y análisis de la información derivada de los procesos que contribuya efectivamente a la toma de decisiones.

#### **Recomendaciones**

1. Proveer de capacitación al personal de la empresa para adaptarlos a los cambios tecnológicos e incrementar sus habilidades de manera continua, y de esta forma reconocer el valor del capital humano dentro de la organización.
2. Mantener los registros relacionados con las actividades de mantenimiento, para llevar el control adecuado de las mejoras e incorporar nuevos cambios de acuerdo con los nuevos retos que se imponga la organización.
3. Desarrollar nuevas propuestas de mejora en otras áreas de la organización, que permitan aplicar las metodologías de ingeniería industrial y contribuyan al incremento de la eficacia y la eficiencia de la organización.

## REFERENCIAS

- Adnan, B., Alkbir, M., Awang, N. y Fatihhi, S. (2021). Addressing the Issues of Maintenance Management in SMEs: Towards Sustainable and Lean Maintenance Approach. *Emerging Science Journal* 5(3), 367-379. <https://doi.org/10.28991/esj-2021-01283>
- Alarcón, M., Martínez-García, F., y Gómez, F. (2021). Energy and maintenance management systems in the context of industry 4.0. Implementation in a real case. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 142, 110841. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110841>
- Ali, A., & Ayele, A. (2019). Contribution of Quality Tools for Reducing Food Waste in University Canteen. *Journal of Applied Research on Industrial Engineering*, 6(1), 10–16. <https://doi.org/10.22105/JARIE.2019.177566.1086>
- Azid, N., Shamsudin, N., Yussoff, M. y Samat, H. (2018). Conceptual Analysis and Survey of Total Productive Maintenance (TPM) and Reliability Centered Maintenance (RCM) Relationship. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, (530) 012050. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/530/1/012050/meta>
- Banghart, M., Babski, K., Bian, L. y Strawderman, L. (2018). Subjectivity in Failure Mode Effects Analysis (FMEA) Severity Classification within a Reliability Centered Maintenance (RCM) Context. *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*, 5(1). <https://doi.org/10.15394/ijaaa.2018.1191>
- Brundage, M., Sexton, T., Hodkiewicz, M., Morris, K. Arrines, J. Ameri, F., Ni, J. y Xiao, G. (2019). Where Do We Start? Guidance for Technology Implementation in Maintenance Management for Manufacturing. *International Manufacturing Science and Engineering Conference*. <https://doi.org/10.1115/MSEC2019-2921>
- Ccance, J. y Quiñones, M. (2020). *Aplicación del RCM para mejorar la productividad del área de producción de la empresa Shurtape Perú S.A. Santa Anita 2020*. [Tesis de grado]. Lima: Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/56251>

- Chuquimango, Y. y Cotrina, C. (2017). Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en la flota de excavadoras hidráulicas 336DL para reducir costos de reparación en la empresa Coansa del Perú Ingenieros S. A. C. Cajamarca 2017. [Tesis de grado]. Cajamarca: Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/12706>
- Crespo, A., Moreu, P., Gómez, J., Parra, C., y López, M. (2009). The maintenance management framework. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 15(2), 167–178. <https://doi.org/10.1108/13552510910961110>
- Da Silva, F., Terumi, A., Bianchessi, M., & Bianchini, I. (2022). Adopting basic quality tools and landscape analysis for applied limnology: an approach for freshwater reservoir management. *Sustainable Water Resources Management*, 43(8), 65–72. <https://doi.org/10.1007/s40899-022-00655-8>
- Esmaeel, R., Zakuan, N., Jamal, N. y Taherdoost, H. (2018). Understanding of business performance from the perspective of manufacturing strategies: fit manufacturing and overall equipment effectiveness. *Procedia Manufacturing*, 22, 998–1006. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.142>
- Fang, F., Zhao, Z., Huang, C., Zhang, X., Wang, H. y Yang, Y. (2019). Application of Reliability-Centered Maintenance in Metro Door System. *IEEE Access*, 7, 186167–186174. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2960521>
- Fraser, K. Hvolby, H. y Tseng, T: (2017). Maintenance management models: a study of the published literature to identify empirical evidence. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 32 (6), 635-664. <http://dx.doi.org/10.1108/IJQRM-11-2013-0185>
- Gupta, G. y Mishra, R. (2018). Identification of Critical Components Using ANP for Implementation of Reliability Centered Maintenance. *Procedia CIRP*, 69, 905–909. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.122>
- García, J., Prado, J. y Fernández, A. (2018). Integrating KPIs for improving efficiency in road transport. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 48 (9), 931-951. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-05-2017-0199>

- García, S., y Gallego, M. (2019). Industry 4.0 implications in production and maintenance management: An overview. *Procedia Manufacturing*, 41, 415–422. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.09.027>
- Harits, D., Endang, B. y Tatas, F. (2020). Proposed maintenance policy using reliability centered maintenance (RCM) method with FMECA analysis: A case study of automotive industry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, (1034) <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1034/1/012111>
- Kim, S. J., Kim, H.-S. y Choi, J.-H. (2020). Modified Reliability Centered Maintenance Analysis Considering Probability of Detection. *Journal of Aerospace Information Systems*, 1–8. <https://doi.org/10.2514/1.i010800>.
- Macedo, N. y López, F. *Modelo de gestión de mantenimiento para mejorar la disponibilidad en equipos subterráneos en una empresa de mediana minería en Ayacucho-Perú, utilizando RCM*. [Tesis de grado]. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/653812>
- Marmo, R., Polverino, F., Nicolella, M. y Tibaut, A. (2020). Building performance and maintenance information model based on IFC schema. *Automation in Construction*, 118, 103275. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103275>
- Medina, J. (2021). *Mejora de la gestión de mantenimiento de maquinaria pesada con la metodología AMEF, como herramienta principal del RCM*. [Tesis de grado]. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo. <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/18127>
- Mehmeti, X., Mehmeti, B., y Sejdiu, R. (2018). The equipment maintenance management in manufacturing enterprises. *IFAC-PapersOnLine*, 51(30), 800–802. <https://doi.org/doi:10.1016/j.ifacol.2018.11.192>
- Moreira, A., Silva, F., Correia, A., Pereira, T., Ferreira, L. y de Almeida, F. (2018). Cost reduction and quality improvements in the printing industry. *Procedia Manufacturing*, 17, 623–630. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.107>



- Muñoz, A., Santos, J., Montoya, J. y Jaca, C. (2018). Using OEE to evaluate the effectiveness of urban freight transportation systems: A case study. *International Journal of Production Economics*, 197, 232–242. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.01.011>
- Nilson, M., Antinyan, V., & Gren, L. (2019). Do Internal Software Quality Tools Measure Validated Metrics? In *Product-Focused Software Process Improvement*. Springer Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-35333-9\\_50](https://doi.org/10.1007/978-3-030-35333-9_50)
- Padilla, H. (2020). *Aplicación de un plan de mejora en la gestión de maquinarias y equipos basado en el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en la empresa Construmaq Perú S.A., Lima 2019*. [Tesis de grado]. Lima: Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/25994>
- Picarillo, A. (2018). Introduction to quality improvement tools for the clinician. *Journal of Perinatology*, 38(1), 929–935. <https://doi.org/10.1038/s41372-018-0100-4>
- Ramos, P., Nascimento, D., Cocolo, C., Nicola, M., Alonso, C., Ribeiro, L y Louzada, F. (2018). Reliability-Centered Maintenance: Analyzing Failure in Harvest Sugarcane Machine Using Some Generalizations of the Weibull Distribution. *Modelling and Simulation in Engineering*, 2018, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2018/1241856>
- Sajaradj, Z., Huda, L. y Sukaria, S. (2018). The Application of Reliability Centered Maintenance (RCM) Methods to Design Maintenance System in Manufacturing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, (505) 012058. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/505/1/012058>
- Santos, T., Silva, F., Ramos, S., Campilho, R. y Ferreira, L. (2019). Asset Priority Setting for Maintenance Management in the Food Industry. *Procedia Manufacturing*, 38, 1623–1633. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.122>
- Singh, P., Singh, S., Vardhan, S., y Patnaik, A. (2020). Sustainability of maintenance management practices in hydropower plant: A conceptual framework. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.842>
- Sousa, E., Silva, F., Ferreira, L., Pereira, M., Gouveia, R. y Silva, R. (2018). Applying SMED methodology in cork stoppers production. *Procedia Manufacturing*, 17, 611–622. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.103>

- Tsarouhas, P. (2018). Reliability, availability, and maintainability (RAM) analysis for wine packaging production line. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 35 (3) 821-842. Recuperado de: <https://doi.org/10.1108/IJQRM-02-2017-0026>
- Tsironis, L. (2018). Quality improvement calls data mining: the case of the seven new quality tools. *Benchmarking: An International Journal*, 25(1), 47–75. <https://doi.org/10.1108/BIJ-06-2016-0093>
- Venanzi, D., Augusto, J., Hasegawa, L., Silva, H., & Roque, O. (2018). Application of quality tools in solving problems in the Production process of an abc company – case study. *Revista Científica Hermes*, 22(1), 583–605. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=477658116008>
- Wicaksono, P., Saptadi, D., Nurkertamanda, D. y Rozaq, R. (2021). Production Machine Maintenance System Design Using Reliability Centered Maintenance. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, (1096) <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1096/1/012018>
- Zhang, B., Liu, X., Yang, H., Wang, X. y Zhang, H. (2021). Analysis of User-Oriented Network Operation and Maintenance Management. *2021 IEEE 5th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)*. <https://doi.org/10.1109/iaeac50856.2021.9390>

*Anexo I.* Relación de situaciones observadas en relación con la gestión de mantenimiento durante la evaluación.

<b>Fecha</b>	<b>Situación observada</b>	<b>Causa principal</b>
1/09/2020	Indicador de estado de funcionamiento, no funciona	Incumplimiento de rutinas de inspección.
2/09/2020	Banco eléctrico, no funciona (no enciende)	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
2/09/2020	No se cuenta con formato para registrar mantenimiento	Ausencia de métodos estandarizados
3/09/2020	Indicador de estado de funcionamiento, no funciona	Incumplimiento de rutinas de inspección.
5/09/2020	Horno no alcanza temperatura de trabajo (120 °C)	Incumplimiento de rutinas de inspección.
5/09/2020	Indicador de estado de funcionamiento, no funciona	Incumplimiento de rutinas de inspección.
5/09/2020	No se cuenta con formato para registrar mantenimiento	Ausencia de métodos estandarizados
5/09/2020	No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
6/09/2020	Indicador de estado de funcionamiento, no funciona	Incumplimiento de rutinas de inspección.
10/09/2020	Indicador de estado de funcionamiento, no funciona	Incumplimiento de rutinas de inspección.
10/09/2020	Indicador de estado de funcionamiento, no funciona	Incumplimiento de rutinas de inspección.
10/09/2020	Indicador de falla se activa, a pesar de que el sistema funciona con normalidad	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
10/09/2020	Operario manejó mal el equipo	Falta de capacitación.
11/09/2020	Banco eléctrico, no funciona (no enciende)	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
11/09/2020	Indicador de estado de funcionamiento, no funciona	Incumplimiento de rutinas de inspección.
11/09/2020	Indicador de estado de funcionamiento, no funciona	Incumplimiento de rutinas de inspección.
11/09/2020	Indicador de falla se activa, a pesar de que el sistema funciona con normalidad	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
11/09/2020	No se cuenta con formato para registrar mantenimiento	Ausencia de métodos estandarizados
12/09/2020	Horno no alcanza temperatura de trabajo (120 °C)	Incumplimiento de rutinas de inspección.

<b>Fecha</b>	<b>Situación observada</b>	<b>Causa principal</b>
12/09/2020	No se cuenta con formato para registrar mantenimiento	Ausencia de métodos estandarizados
12/09/2020	No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
13/09/2020	Indicador de estado de funcionamiento, no funciona	Incumplimiento de rutinas de inspección.
14/09/2020	Banco eléctrico, no funciona (no enciende)	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
14/09/2020	No se cuenta con formato para registrar mantenimiento	Ausencia de métodos estandarizados
14/09/2020	No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
15/09/2020	Indicador de estado de funcionamiento, no funciona	Incumplimiento de rutinas de inspección.
15/09/2020	Indicador de falla se activa, a pesar de que el sistema funciona con normalidad	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
15/09/2020	No se registra fallas en el equipo	Ausencia de métodos estandarizados
15/09/2020	Operario desconoce plan de mantenimiento	Ausencia de métodos estandarizados
16/09/2020	Banco eléctrico, no funciona (no enciende)	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
16/09/2020	Horno no alcanza temperatura de trabajo (120 °C)	Incumplimiento de rutinas de inspección.
16/09/2020	Horno no funciona	Incumplimiento de rutinas de inspección.
16/09/2020	No se cuenta con formato para registrar mantenimiento	Ausencia de métodos estandarizados
16/09/2020	No se cumplió con el servicio	Paradas de equipos por mantenimiento.
16/09/2020	No se encuentran las recomendaciones del fabricante	Falta de documentación.
17/09/2020	Horno no alcanza temperatura de trabajo (120 °C)	Incumplimiento de rutinas de inspección.
17/09/2020	Indicador de estado de funcionamiento, no funciona	Incumplimiento de rutinas de inspección.
17/09/2020	Indicador de falla se activa, a pesar de que el sistema funciona con normalidad	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
17/09/2020	No se cuenta con formato para registrar mantenimiento	Ausencia de métodos estandarizados

<b>Fecha</b>	<b>Situación observada</b>	<b>Causa principal</b>
18/09/2020	Horno no alcanza temperatura de trabajo (120 °C)	Incumplimiento de rutinas de inspección.
18/09/2020	Indicador de falla se activa, a pesar de que el sistema funciona con normalidad	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
18/09/2020	No regula la carga eléctrica, luego de activar los interruptores	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
18/09/2020	No se encuentran las recomendaciones del fabricante	Falta de documentación.
20/09/2020	Indicador de falla se activa, a pesar de que el sistema funciona con normalidad	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
20/09/2020	No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
21/09/2020	Horno no funciona	Incumplimiento de rutinas de inspección.
21/09/2020	No regula la carga eléctrica, luego de activar los interruptores	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
21/09/2020	No regula la carga eléctrica, luego de activar los interruptores	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
21/09/2020	No se encuentran las recomendaciones del fabricante	Falta de documentación.
22/09/2020	No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
22/09/2020	Operario desconoce plan de mantenimiento	Ausencia de métodos estandarizados
25/09/2020	No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
25/09/2020	Operario desconoce plan de mantenimiento	Ausencia de métodos estandarizados
26/09/2020	Banco eléctrico, no funciona (no enciende)	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
26/09/2020	Banco eléctrico, no funciona (no enciende)	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
26/09/2020	No regula la carga eléctrica, luego de activar los interruptores	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.

<b>Fecha</b>	<b>Situación observada</b>	<b>Causa principal</b>
26/09/2020	No regula la carga eléctrica, luego de activar los interruptores	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
26/09/2020	No regula la carga eléctrica, luego de activar los interruptores	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
26/09/2020	No regula la temperatura de trabajo	Incumplimiento de rutinas de inspección.
26/09/2020	No se cuenta con formato para registrar mantenimiento	Ausencia de métodos estandarizados
26/09/2020	No se cuenta con formato para registrar mantenimiento	Ausencia de métodos estandarizados
1/10/2020	Horno no alcanza temperatura de trabajo (120 °C)	Incumplimiento de rutinas de inspección.
1/10/2020	No regula la temperatura de trabajo	Incumplimiento de rutinas de inspección.
1/10/2020	No regula la temperatura de trabajo	Incumplimiento de rutinas de inspección.
1/10/2020	No se cuenta con formato para registrar mantenimiento	Ausencia de métodos estandarizados
3/10/2020	No se registra fallas en el equipo	Ausencia de métodos estandarizados
4/10/2020	Banco eléctrico, no funciona (no enciende)	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
4/10/2020	No regula la temperatura de trabajo	Incumplimiento de rutinas de inspección.
4/10/2020	No regula la temperatura de trabajo	Incumplimiento de rutinas de inspección.
4/10/2020	No se cuenta con formato para registrar mantenimiento	Ausencia de métodos estandarizados
4/10/2020	No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
4/10/2020	Operario desconoce plan de mantenimiento	Ausencia de métodos estandarizados
4/10/2020	Se repitió el mantenimiento al equipo	Falta de evaluación de fallas
9/10/2020	Horno no alcanza temperatura de trabajo (120 °C)	Incumplimiento de rutinas de inspección.
9/10/2020	No regula la temperatura de trabajo	Incumplimiento de rutinas de inspección.
9/10/2020	No regula la temperatura de trabajo	Incumplimiento de rutinas de inspección.
9/10/2020	No se cumplió con el servicio	Paradas de equipos por mantenimiento.

<b>Fecha</b>	<b>Situación observada</b>	<b>Causa principal</b>
9/10/2020	Se repitió el mantenimiento al equipo	Falta de evaluación de fallas
10/10/2020	Operario manejó mal el equipo	Falta de capacitación.
11/10/2020	Banco eléctrico, no funciona (no enciende)	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
11/10/2020	Horno no alcanza temperatura de trabajo (120 °C)	Incumplimiento de rutinas de inspección.
11/10/2020	No regula la carga eléctrica, luego de activar los interruptores	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
11/10/2020	No regula la temperatura de trabajo	Incumplimiento de rutinas de inspección.
11/10/2020	No regula la temperatura de trabajo	Incumplimiento de rutinas de inspección.
11/10/2020	No regula la temperatura de trabajo	Incumplimiento de rutinas de inspección.
11/10/2020	No regula la temperatura de trabajo	Incumplimiento de rutinas de inspección.
11/10/2020	No se cuenta con formato para registrar mantenimiento	Ausencia de métodos estandarizados
11/10/2020	No se cumplió con el servicio	Paradas de equipos por mantenimiento.
11/10/2020	Se repitió el mantenimiento al equipo	Falta de evaluación de fallas
14/10/2020	No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
15/10/2020	Horno no funciona	Incumplimiento de rutinas de inspección.
15/10/2020	No regula la temperatura de trabajo	Incumplimiento de rutinas de inspección.
15/10/2020	No regula la temperatura de trabajo	Incumplimiento de rutinas de inspección.
15/10/2020	No se entregó el equipo en la fecha acordada	Paradas de equipos por mantenimiento.
15/10/2020	Operario desconoce plan de mantenimiento	Ausencia de métodos estandarizados
16/10/2020	Horno no funciona	Incumplimiento de rutinas de inspección.
16/10/2020	No se conoce el tiempo estándar de reparación	Ausencia de indicadores.
16/10/2020	No se conoce el tiempo estándar de reparación	Ausencia de indicadores.
16/10/2020	No se entregó el equipo en la fecha acordada	Paradas de equipos por mantenimiento.

<b>Fecha</b>	<b>Situación observada</b>	<b>Causa principal</b>
16/10/2020	Se repitió el mantenimiento al equipo	Falta de evaluación de fallas
17/10/2020	Horno no alcanza temperatura de trabajo (120 °C)	Incumplimiento de rutinas de inspección.
17/10/2020	No se conoce el tiempo promedio de fallas	Ausencia de indicadores.
17/10/2020	No se conoce el tiempo promedio de fallas	Ausencia de indicadores.
17/10/2020	No se cumplió con el servicio	Paradas de equipos por mantenimiento.
21/10/2020	No regula la carga eléctrica, luego de activar los interruptores	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
21/10/2020	No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
21/10/2020	Operario desconoce plan de mantenimiento	Ausencia de métodos estandarizados
21/10/2020	Se repitió el mantenimiento al equipo	Falta de evaluación de fallas
29/10/2020	Operario desconoce plan de mantenimiento	Ausencia de métodos estandarizados
2/11/2020	Horno no alcanza temperatura de trabajo (120 °C)	Incumplimiento de rutinas de inspección.
2/11/2020	No se conoce la disponibilidad de equipos	Ausencia de indicadores.
2/11/2020	No se cumplió con el servicio	Paradas de equipos por mantenimiento.
2/11/2020	No se entregó el equipo en la fecha acordada	Paradas de equipos por mantenimiento.
2/11/2020	No se registra fallas en el equipo	Ausencia de métodos estandarizados
2/11/2020	No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
4/11/2020	Operario desconoce plan de mantenimiento	Ausencia de métodos estandarizados
4/11/2020	Se repitió el mantenimiento al equipo	Falta de evaluación de fallas
5/11/2020	No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
5/11/2020	Operario desconoce plan de mantenimiento	Ausencia de métodos estandarizados
5/11/2020	Rutina de lubricación mal ejecutada	Desperdicio en materiales.



<b>Fecha</b>	<b>Situación observada</b>	<b>Causa principal</b>
5/11/2020	Se repitió el mantenimiento al equipo	Falta de evaluación de fallas
6/11/2020	Se repitió el mantenimiento al equipo	Falta de evaluación de fallas
7/11/2020	Banco eléctrico, no funciona (no enciende)	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
7/11/2020	Horno no funciona	Incumplimiento de rutinas de inspección.
7/11/2020	No se cuenta con formato para registrar mantenimiento	Ausencia de métodos estandarizados
7/11/2020	No se entregó el equipo en la fecha acordada	Paradas de equipos por mantenimiento.
7/11/2020	No se entregó el equipo en la fecha acordada	Paradas de equipos por mantenimiento.
7/11/2020	No se entregó el equipo en la fecha acordada	Paradas de equipos por mantenimiento.
7/11/2020	No se registra fallas en el equipo	Ausencia de métodos estandarizados
7/11/2020	No se registra fallas en el equipo	Ausencia de métodos estandarizados
8/11/2020	Se repitió el mantenimiento al equipo	Falta de evaluación de fallas
9/11/2020	Horno no alcanza temperatura de trabajo (120 °C)	Incumplimiento de rutinas de inspección.
9/11/2020	No se cumplió con el servicio	Paradas de equipos por mantenimiento.
9/11/2020	No se registra fallas en el equipo	Ausencia de métodos estandarizados
9/11/2020	No se registra fallas en el equipo	Ausencia de métodos estandarizados
9/11/2020	No se registra fallas en el equipo	Ausencia de métodos estandarizados
12/11/2020	No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
14/11/2020	Banco eléctrico, no funciona (no enciende)	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
14/11/2020	No se cuenta con formato para registrar mantenimiento	Ausencia de métodos estandarizados
14/11/2020	No se registra fallas en el equipo	Ausencia de métodos estandarizados
14/11/2020	No se registra fallas en el equipo	Ausencia de métodos estandarizados

<b>Fecha</b>	<b>Situación observada</b>	<b>Causa principal</b>
15/11/2020	No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
16/11/2020	Operario desconoce plan de mantenimiento	Ausencia de métodos estandarizados
18/11/2020	No se registra fallas en el equipo	Ausencia de métodos estandarizados
20/11/2020	No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
21/11/2020	Banco eléctrico, no funciona (no enciende)	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
21/11/2020	No se cuenta con formato para registrar mantenimiento	Ausencia de métodos estandarizados
21/11/2020	No se registra fallas en el equipo	Ausencia de métodos estandarizados
21/11/2020	No se registra fallas en el equipo	Ausencia de métodos estandarizados
21/11/2020	No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
22/11/2020	No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
22/11/2020	Se repitió el mantenimiento al equipo	Falta de evaluación de fallas
29/11/2020	No se visualiza la carga eléctrica en el panel de control, luego de energizar el banco	Incumplimiento del programa de mantenimiento preventivo.
30/11/2020	Operario desconoce plan de mantenimiento	Ausencia de métodos estandarizados