



**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**“APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA MANTENIMIENTO
CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA MEJORAR LA
PRODUCTIVIDAD EN LA EMPRESA LEPABI CÍA. LTDA. SANTA
ELENA-ECUADOR.”**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

AUTOR:

CHICA SOLANO JAVIER ENRIQUE

TUTOR:

ING. BERMEO GARCÍA MARCO, MGTR.

La Libertad, Ecuador

2026

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **CHICA SOLANO JAVIER ENRIQUE**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Industrial**.

TUTOR

f. 

Ing. Bermeo García Marco, Mgtr.

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. 

Ing. Balón Ramos Isabel Del Roció, Msc.

La Libertad, a los 12 del mes de agosto del año 2026

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación **“APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN LA EMPRESA LEPABI CÍA. LTDA. SANTA ELENA-ECUADOR.”**, elaborado por el **Sr. Chica Solano Javier Enrique**, estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial, me permito declarar que luego de haberla dirigido, estudiado y revisado, la apruebo en su totalidad.

TUTOR

f. 

Ing. Bermeo García Marco, Mgtr.

La Libertad, a los 12 del mes de agosto del año 2026

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Chica Solano Javier Enrique

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, “**Aplicación de la metodología Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para mejorar la productividad en la empresa Lepabi Cía. Ltda. Santa Elena-Ecuador.**” previo a la obtención del título de **Ingeniería Industrial**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

La Libertad, a los 12 del mes de agosto del año 2026

EL AUTOR

f. Javier Chica

Chica Solano Javier Enrique

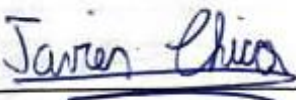
AUTORIZACIÓN

Yo, **Chica Solano Javier Enrique**

Autorizo a la Universidad Península de Santa Elena la **publicación** en la biblioteca de la Institución del Trabajo de Titulación, “**Aplicación de la metodología Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para mejorar la productividad en la empresa Lepabi Cía. Ltda. Santa Elena-Ecuador.**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

La Libertad, a los 12 del mes de agosto del año 2026

EL AUTOR:

f. 

Chica Solano Javier Enrique

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema **“APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN LA EMPRESA LEPABI CIA. LTDA. SANTA ELENA-ECUADOR”** elaborado por el Sr. **Javier Enrique Chica Solano**, egresado de la carrera de Ingeniería de Industrial, la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial me permito declarar que una vez analizado en el sistema anti plagio Compilatio Magister, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 5% de la valoración permitida por consiguiente se procede a emitir el presente informe.



Certificado de análisis
Compilatio Magister+ | UPSE-ECU

CHICA SOLANO JAVIER - TRABAJO CURRICULAR

ID : f7b9143c3c48a37a65294e331b44a8a652abf461



5%

Textos sospechosos

Nombre del fichero : CHICA SOLANO JAVIER - TRABAJO CURRICULAR.docx
Tamaño del archivo original : 1,44 MB
Número de palabras : 20.880

Depositante : MARCO VINICIO BERMEO GARCIA
Fecha de depósito : 6 de agosto de 2026
Tipo de carga : interface
Fecha de fin de análisis : 6 de agosto de 2026

Resumen (sección 1/2)

Localización de los textos sospechosos en el documento :



Adjunto reporte de similitud.

Atentamente,

TUTOR

f.

Ing. Bermeo García Marco, Mgtr.

C.C.: 1707326813

CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

VALIDACIÓN GRAMATICAL Y ORTOGRÁFICA

CERTIFICO

Que, he realizado la revisión y corrección del Trabajo de Integración Curricular para la obtención del título de Ingeniero Industrial con el tema: **"APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN LA EMPRESA LEPABI CÍA. LTDA. SANTA ELENA-ECUADOR"**. Ha sido desarrollado por el estudiante de la Carrera de Ingeniería Industrial: **CHICA SOLANO JAVIER ENRIQUE** de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Que, el trabajo presenta un dominio formal del lenguaje, con expresión clara, coherencia discursiva y solidez interpretativa. Asimismo, garantizando su adecuación a los estándares académicos y formales requeridos.

Por lo expuesto, se expide el presente certificado para que los interesados lo utilicen ante las instancias que correspondan.

Atentamente,



Lic. Mónica Paredes Castro, M.Sc.
Magister en Educación Básica
Correo: misabelp1017@gmail.com
C.C: 0605353143
Celular: 0969917044

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme la vida, la salud, la fortaleza necesaria para culminar esta importante etapa académica, su guía y bendiciones han sido fundamentales para superar cada desafío y alcanzar esta meta de manera satisfactoria.

Expreso mi más sincero agradecimiento a los docentes que formaron parte de mi proceso educativo, por compartir sus conocimientos, experiencias y enseñanzas con dedicación y profesionalismo, en especial a docentes que ya no se encuentran físicamente entre nosotros y que permanecerán siempre en nuestra memoria.

Asimismo, agradezco a mis compañeros de estudio Jimmy Asencio, Joan Pilco, Cristian Nevarez, Bryan Panchana, Julio Perero, quienes me acompañaron a lo largo de este camino, brindándome su amistad, colaboración y apoyo en los momentos de mayor exigencia, las experiencias compartidas contribuyeron significativamente a mi formación y enriquecieron esta etapa de mi vida.

Javier Chica Solano

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico en primer lugar a Dios por otorgarme fuerzas y sabiduría para seguir adelante a pesar de las circunstancias.

A mis padres, Edison y Geoconda quienes han sido el pilar fundamental de mi vida, gracias por su amor incondicional, sus sacrificios, y su apoyo constante en cada etapa de mi formación. A ustedes que nunca permitieron que me rindiera antes las dificultades y que siempre encontraron las palabras adecuadas para motivarme a seguir adelante cuando el camino parecía difícil, su esfuerzo y ejemplo de perseverancia han sido mi mayor inspiración para alcanzar esta meta.

Este logro no fue solo mío, sino también de ustedes porque cada paso estuvo acompañado de su inspiración.

A mi esposa, por su amor incondicional, comprensión y apoyo constante en los momentos más difíciles, gracias por creer en mí, por acompañarme en cada desafío y por impulsarme a seguir adelante cuando las fuerzas parecían agotarse.

A mi hija, quien con su sonrisa y amor ilumina cada día de mi vida, eres la razón que me inspira a esforzarme y a buscar siempre ser una mejor persona y profesional.

Javier Chica Solano

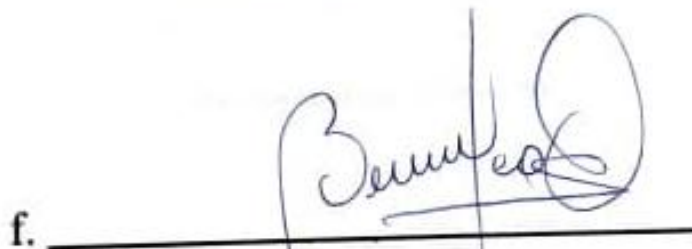
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

ING. BALÓN RAMOS ISABEL DEL ROCÍO, MSC.
DIRECTOR DE CARRERA

f. 

ING. FRANKLIN ENRIQUE REYES SORIANO, MSC.
DOCENTE ESPECIALISTA

f. 

ING. BERMEO GARCÍA MARCO, MGTR.
DOCENTE TUTOR

f. 

ING. BUENAÑO BUENAÑO EDISON NOE, MSC.
DOCENTE UIC

ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	¡Error! Marcador no definido.
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	¡Error! Marcador no definido.
AUTORIZACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO.....	¡Error! Marcador no definido.
CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA	vii
AGRADECIMIENTOS	viii
DEDICATORIA.....	ix
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
ÍNDICE GENERAL	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS	xvii
LISTA DE ABREVIATURAS Y TABLA DE SÍMBOLOS.....	xviii
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx
INTRODUCCIÓN	21
CAPÍTULO I.....	27

MARCO TEÓRICO	27
1.1. Antecedentes investigativos	27
1.2. Estado del arte	28
1.3. Fundamentos teóricos	33
CAPÍTULO II	40
MARCO METODOLÓGICO	40
2.1. Enfoque de investigación	40
2.2. Diseño de investigación	40
2.3. Procedimiento metodológico	41
2.4. Población y muestra no probabilística	42
2.4.1. <i>Población</i>	42
2.4.2. <i>Muestra</i>	42
2.5. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de los datos (adaptada a la unidad de análisis y tipo de estudio)	43
2.5.1. <i>Métodos de recolección de los datos</i>	43
2.5.2. <i>Técnicas de recolección de los datos</i>	44
2.5.3. <i>Instrumentos de recolección de los datos</i>	44
2.6. Variable del estudio.....	44
2.7. Procedimiento para la recolección de los datos	47
2.8. Plan de análisis e interpretación de datos.....	48
CAPÍTULO III.....	49
MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
3.1. Marco de resultados	49
3.2. Validez y confiabilidad de los instrumentos de investigación utilizados	49
3.2.1. <i>Validez del instrumento de recolección de datos</i>	49
3.2.2. <i>Análisis de los resultados de la encuesta.</i>	50
3.2.3. <i>Confiabilidad del instrumento de recolección de datos</i>	51
3.2.4. <i>Correlación de variables</i>	52
3.2.5. <i>Verificación de la hipótesis</i>	53

3.3. Contexto organizacional	54
3.4. Implementación de la metodología mantenimiento centrado en la confiabilidad	56
3.5. Marco de discusión	91
CONCLUSIONES	93
RECOMENDACIONES	94
BIBLIOGRAFÍA	95
ANEXOS	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Puntaje de los criterios.	34
Tabla 2. Índice de severidad.....	36
Tabla 3. Índice de ocurrencia.	36
Tabla 4. Índice de detectabilidad.....	37
Tabla 5. Niveles de riesgo.	37
Tabla 6. Población de la empresa Lepabi Cía. Ltda.....	42
Tabla 7. Muestra.....	43
Tabla 8. Técnicas de recolección de datos.	44
Tabla 9. Instrumento de recolección de datos.	44
Tabla 10. Operacionalización de variable independiente.....	45
Tabla 11. Operacionalización de variable dependiente.....	46
Tabla 12. Plan de análisis e interpretación de datos.....	48
Tabla 13. Datos de expertos.	49
Tabla 14. Resultados de la validación de los expertos.....	50
Tabla 15. Coeficiente de Cronbach.	51
Tabla 16. Valor de significancia p.	52
Tabla 17. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.	52
Tabla 18. Niveles de correlación Spearman.....	53
Tabla 19. Prueba de correlación de variables Rho de Spearman.	54
Tabla 20. Registro de producción.	55
Tabla 21. Jerarquización del sistema.....	58
Tabla 22. Funciones y modos de fallas en los equipos.	59
Tabla 23. Justificación de puntuaciones de criticidad.....	61
Tabla 24. Matriz de criticidad.	65
Tabla 25. Niveles de criticidad.....	65
Tabla 26. Análisis de Modo de Fallas y Efecto - Caldero.....	68
Tabla 27. Análisis de Modo de Fallas y Efecto - bomba trifásica (móvil).	69
Tabla 28. Análisis de Modo de Fallas y Efecto - blower lobular.....	71
Tabla 29. Análisis de Modo de Fallas y Efecto - blower Roton.	73

Tabla 30. Análisis de Modos de Fallas y Efectos - bomba trifásica (playa).	74
Tabla 31. NPR actual y propuesto.	76
Tabla 32. Tiempo medio de reparación (MTTR).	77
Tabla 33. Tiempo promedio entre fallas (MTBF).	78
Tabla 34. Disponibilidad de los equipos.	79
Tabla 35. Confiabilidad de los equipos.	80
Tabla 36. Hoja de decisión.	82
Tabla 37. Leyenda RCM.	83
Tabla 38. Comparación MTTR actual y propuesto.	85
Tabla 39. Comparación del MTBF actual y propuesto.	86
Tabla 40. Disponibilidad de los equipos propuesto.	86
Tabla 41. Confiabilidad de los equipos propuesta.	87
Tabla 42. Estado financiero.	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas de búsqueda.....	29
Figura 2. Producción científica anual.	30
Figura 3. Producción científica mundial.	30
Figura 4. Enfoque metodológico.....	31
Figura 5. Técnicas de recolección de datos.....	32
Figura 6. Instrumentos de recolección de datos.	33
Figura 7. Procedimiento metodológico del RCM.	41
Figura 8. Recopilación de las respuestas de la encuesta.	51
Figura 9. Taxonomía del sistema.	57
Figura 10. Diagrama de Pareto.	66
Figura 11. Cronograma del plan RCM.	84

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Cuestionario estructurado RCM.....	101
Anexo B. Fichas de validación por juicios de expertos.	102
Anexo C. Ficha de evaluación de aspectos.....	103
Anexo D. Calificaciones por expertos	104
Anexo E. Firma de los expertos.....	106
Anexo F. Ficha técnica.	108
Anexo G. Ficha RCM.....	108

LISTA DE ABREVIATURAS Y TABLA DE SÍMBOLOS

RCM: Reliability Centered Maintenance (mantenimiento centrado en la confiabilidad).

VI: Variable independiente.

VD: Variable dependiente.

AMFE: Análisis de Modos y Efectos de Falla.

NPR: Numero de Prioridad de Riesgo.

MTTR: Mean Time To Repair (tiempo medio de reparación)

MTBF: Mean Time Between Failures (tiempo medio entre fallas)

RAM: Reliability, Availability and Maintainability (confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad).

FMEA: Failure Mode and Effects Analysis.

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN LA EMPRESA LEPABI CÍA. LTDA. SANTA ELENA-ECUADOR.

Autor: Chica Solano Javier Enrique

Tutor: Ing. Bermeo García Marco, Mgtr.

RESUMEN

En la actualidad dentro de las industrias es indispensable mantener un sistema productivo funcionando en correctas condiciones, para ello el mantenimiento cumple un rol sumamente importante. Por eso, este proyecto tiene como objetivo aplicar la metodología Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para el mejoramiento de la productividad de la empresa Lepabi Cía. Ltda., Santa Elena, Ecuador. Este estudio es un diseño no experimental, con un enfoque cuantitativo y descriptiva-correlacional, su proceso metodológico la conforman la recolección de datos, identificación taxonómica del sistema, contexto operacional, análisis de criticidad, AMFE, análisis RAM y la planificación RCM. El diagnóstico situacional facilito la identificación de los equipos de alta criticidad dentro del sistema, el Análisis de Modos de Fallas y Efectos localizo los componentes con alta prioridad de riesgo, bajo este contexto se elaboró la propuesta de mejora obteniendo una reducción del MTTR del 8 %, un incremento del MTBF del 51 %, un aumento de la disponibilidad de los equipos de aproximadamente 2 % y una mejor confiabilidad de 59 %, todo contribuye al correcto funcionamiento de las maquinarias y por ende al alza de la productividad.

Palabras claves: *mantenimiento, criticidad, MTTR, MTBF, productividad y confiabilidad).*

APPLICATION OF THE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE METHODOLOGY TO IMPROVE PRODUCTIVITY AT LEPABI CÍA. LTDA., SANTA ELENA-ECUADOR.

Author: Chica Solano Javier Enrique

Tutor: Ing. Bermeo García Marco, Mgtr.

ABSTRACT

Therefore, this project aims to apply the Reliability-Centered Maintenance (RCM) methodology to improve the productivity of Lepabi Cía. Ltda., Santa Elena, Ecuador. This study follows a non-experimental design with a quantitative and descriptive-correlational approach. Its methodological process includes data collection, taxonomic identification of the system, operational context, criticality analysis, Failure Modes and Effects Analysis (FMEA), RAM analysis, and RCM planning. The situational diagnosis facilitated the identification of highly critical equipment within the system, while the Failure Modes and Effects Analysis identified the components with the highest risk priority. Based on this context, an improvement proposal was developed, resulting in an 8% reduction in Mean Time to Repair (MTTR), a 51% increase in Mean Time Between Failures (MTBF), an approximately 2 % increase in equipment availability, and a 59 % improvement in reliability. These results contribute to the proper operation of the machinery and, consequently, to increased productivity.

Keywords: *maintenance, criticality, MTTR, MTBF, productivity, and reliability.*

INTRODUCCIÓN

La industria acuícola, a lo largo de los últimos años, ha logrado un gran crecimiento a nivel mundial debido a la alta demanda de productos marinos, impactando positivamente en su desarrollo técnico y productivo, lo que permite garantizar estándares de calidad, bioseguridad y sostenibilidad (Rivas et al., 2025). Para las empresas acuícolas es fundamental un funcionamiento óptimo de sus equipos por largos períodos de tiempo, convirtiendo a la gestión del mantenimiento en un factor clave de este sector industrial. A lo largo de los años se han desarrollado estrategias enfocadas en el mantenimiento con el objetivo de reducir fallas en los equipos, mitigar riesgos, aprovechar mejor los recursos y prevenir paros de producción (Otero-Potosi et al., 2025). La metodología Reliability Centered Maintenance (RCM) está centrada en desarrollar estrategias que garanticen que los equipos cumplan de manera óptima sus funciones requeridas (Andrade & Herrera, 2018). En este contexto, en un estudio desarrollado en Indonesia titulado “Análisis de la implementación de un sistema de mantenimiento basado en la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en un molino de tubos para cemento de PT Cemindo Gemilang Medan”, implementó un sistema de mantenimiento basado en el RCM. Primeramente, se encontró que existía un problema que abarcaba los tiempos de inactividad del 3,0 % en una máquina. A lo largo de la designación de funciones, el análisis FMEA y los cálculos de riesgo se realizó una estrategia de mantenimiento, la cual ayudó a mejorar la confiabilidad del equipo en un 39.34 % (Siswantoro et al., 2021). Esta investigación respalda los principios de la metodología centrada en la confiabilidad y resalta la importancia de la implementación de estrategias de mantenimiento que garanticen una mejora en el funcionamiento de los procesos.

A nivel latinoamericano, las industrias han buscado diversas alternativas para mitigar los problemas de mantenimiento y mejorar su productividad operativa. En este contexto, un estudio desarrollado en Brasil implementó el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en los equipos, mediante estrategias basadas en prácticas adecuadas de inspección y diagnóstico que permitieron una mejor intervención y gestión de los activos, logrando una reducción de costos entre el 5 % y el 10 %, junto con un aumento de la disponibilidad de los equipos hasta un 95 % (Carvalho de Oliveira et al., 2023). En este estudio resaltan la importancia de una buena estrategia de mantenimiento preventivo para detectar y actuar de inmediato a los problemas, promoviendo la disponibilidad de los equipos y la reducción de costos.

En las industrias ecuatorianas, específicamente en aquellas ubicadas en la región costera, se enfrentan grandes desafíos en el mantenimiento de las maquinarias debido a la alta salinidad presente en el ambiente (Ponce, 2025). Por ende, resulta indispensable contar con un plan de prevención que evite la corrosión y el deterioro de los equipos, siendo el RCM una de las principales alternativas para contrarrestar esta problemática. Un estudio realizado en la provincia de Manabí evidencia la implementación del RCM en una empresa dedicada a la producción de conservas de atún. Mediante un plan de mantenimiento enfocado en la inspección y el control de las medidas de confiabilidad, obtuvo un MTBF inicial de 3,59 y una proyección con el plan de mantenimiento de un 87 %, valor considerado aceptable para la situación actual (Muñoz & Macías, 2021). Los resultados reflejan como el RCM con un indicador clave MTBF, permitió controlar la confiabilidad y establecer estrategias que favorecieron a la productividad y eficiencia.

Este presente proyecto de titulación tiene como objetivo diseñar un plan RCM para mejorar la productividad de los equipos. Debido a que la empresa Lepabi Cía.

Ltda., cuenta con un sistema de producción sostenido por maquinarias (calderos, bombas de recirculación, bombas horizontales con motor trifásico, blowers, generador), estas son utilizadas durante todo el mes sin paros programados, con un tiempo de mantenimiento previsto por cada mes de trabajo de 6 días. Por lo que, se encontró la necesidad de desarrollar un plan de mantenimiento productivo total para reducir paros inesperados que podrían representar grandes pérdidas de producción y posibles accidentes.

Planteamiento del problema:

El problema general se formuló en base a la siguiente pregunta: **¿Cómo la aplicación de la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad puede contribuir en la mejora de la productividad en la empresa Lepabi Cía. Ltda., Santa Elena – Ecuador?**

En el entorno global, en las industrias generalmente el uso de maquinaria y equipos es indispensable para desarrollar sus distintas actividades, siendo fundamental el uso de distintas técnicas para preservar cada uno de estos. En primeras instancias el mantenimiento es una de las soluciones más utilizadas dentro de las industrias, no obstante, si no se lleva una buena planificación, pueden causar paros de producción, accidentes laborales y averías graves en los equipos, representando un aumento de costos o riesgos para los trabajadores (Rojas, 2022). Para ello, dentro de la necesidad se desarrolló una metodología por parte de las industrias manufacturas que contrarrestara y conllevara mejor la situación dentro de las áreas de producción, esta metodología se la denominó mantenimiento centrado a la confiabilidad (RCM).

En América Latina, uno de los problemas más recurrentes que afectan a un mantenimiento eficiente, se debe a distintos motivos como mantenerse en estrategias tradicionales, dificultades de control debido a muchos activos y poco enfoque por parte

de las organizaciones (da Silva et al., 2023). Por ello, metodologías como el RCM ayuda a desarrollar estrategias que permiten contrarrestar las debilidades y garantizan una confiabilidad para incrementar la vida útil de los equipos, mejorar la productividad, mayor motivación y participación del personal, reducción de costos de mantenimiento, cultura de mejora continua y trabajo en equipo (Arenhart et al., 2020).

En Ecuador, un país en desarrollo industrial el mantenimiento de los equipos es clave para un buen funcionamiento operativo, no obstante, inclinan sus estrategias en un mantenimiento preventivo bajo recomendaciones de fabricantes, mecánicos y trabajadores, este enfoque no siempre brinda buenos resultados y es de baja fiabilidad (Peñañiel et al., 2021). El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad tiene como objetivo desarrollar estrategias que promuevan a la fiabilidad, implementando acciones que permitan anticipar las fallas en los equipos, además de establecer indicadores como el Análisis de Modos y Efectos de Fallas.

La provincia de Santa Elena, por su ubicación geográfica en la región costera del Ecuador, se ha establecido como una zona estratégica para el desarrollo de la producción acuícola. La empresa Lepabi Cía. Ltda., se encarga de la producción de larvas de camarón, la falta de mantenimiento en las maquinarias puede reducir la eficiencia de la planta, debido a que la empresa depende de los equipos para producir, un mantenimiento preventivo no planificado da como resultado paros en la producción, otro punto de resaltar es la ubicación de la planta, este se encuentra frente al mar por la disponibilidad de recursos, la brisa marina deteriora los equipos y con el paso del tiempo termina afectando la infraestructura de la empresa. El funcionamiento incorrecto de los equipos afecta en el crecimiento de la larva, dando como resultado una no conformidad por parte de los clientes, además de un incremento en los costos de producción, esto se refleja cuando el producto no pasa el respectivo control de

calidad y se regresa a los tanques hasta buscar un nuevo comprador, aumentando los costos de mano de obra.

Bajo este contexto, se plantea desarrollar un plan de mantenimiento centrado a la confiabilidad (RCM), implementando un sistema de gestión, de manera que permita clasificar los equipos y mejorar la organización del mantenimiento. Desarrollar capacitaciones sobre planificación y control de mantenimiento. Como el punto más importante definir indicadores como MTBF, MTTR, disponibilidad de los equipos y la confiabilidad para tener un mejor control y seguimiento del plan. De esta manera, abordaremos cada uno de las problemáticas presentadas en esta empresa.

Justificación de la investigación:

Este estudio tiene como base 4 justificaciones: primero tiene **justificación teórica** porque parte de una base de datos que brindan información sólida y confiable, el método aplicado RCM es un método que ha sido aplicado y comprobado en varios sectores industriales garantizando confiabilidad. Segundo tiene **justificación practica** debido a que, el sector acuícola contribuye con una óptima gestión de mantenimiento y soluciones para reducir fallas en equipos, costos y accidentes, garantizando una mejor productividad, confiabilidad de los equipos y mayor seguridad.

Tercero tiene **justificación metodológica** en virtud de que el estudio aporta con un plan de mantenimiento que garantiza reducir falla de equipos, mejor gestión del mantenimiento preventivo, reducir costos de mantenimiento por averías y reducir riesgos operativos, mediante estrategias que garanticen un mantenimiento confiable. Cuarto tiene **justificación social** ya que beneficia directamente a la empresa Lepabi Cía. Ltda., mediante la optimización de las actividades de mantenimiento, impulsando al sector y a la empresa.

Objetivo general

Aplicar la metodología Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para el mejoramiento de la productividad de la empresa Lepabi Cía. Ltda., Santa Elena-Ecuador.

Objetivo específicos

OE. 1. Desarrollar una revisión bibliográfica de la literatura sobre metodologías y aplicaciones del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), mediante el método bibliométrico para el respaldo de la base teórica sólida.

OE. 2. Estructurar un marco metodológico en base a artículos científicos relacionados al Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para la selección de la metodología, técnicas e instrumentos de recolección de datos.

OE. 3. Elaborar la propuesta de un plan de mantenimiento por medio del RCM para el mejoramiento de la productividad, eficiencia y disponibilidad de los equipos del laboratorio.

Hipótesis general

H₁: La aplicación de la metodología Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad mejorara notablemente la productividad de la empresa Lepabi Cía. Ltda.

H₀: La aplicación de la metodología Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad no mejorara notablemente la productividad de la empresa Lepabi Cía. Ltda.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

Los antecedentes más recientes del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) a nivel mundial continúan destacando esta metodología como una de las más efectivas para mejorar la eficiencia y disponibilidad operativa en industrias de producción continua. Tal es el caso del estudio realizado por Simanungkalit et al. (2023) en Medan, donde se analizó la implementación del RCM en una empresa manufacturera dedicada a la producción de cemento con una capacidad de 30 toneladas por hora. El estudio identificó que el molino de cemento presentaba elevados tiempos de inactividad que afectaban la producción continua de 24 horas diarias. Por medio del análisis FMEA, se estableció en situación crítica a varios componentes. Como conclusión del análisis, se tuvo una disponibilidad inherente del 79.92 %, por lo que se pactaron planes de mantenimiento preventivo, rediseño de componentes y capacitación al personal técnico. En grupo, estas acciones ayudaron a disminuir las fallas operativas y elevar la confiabilidad del sistema de molienda, demostrando la efectividad del RCM en ambientes industriales exigentes.

En Latinoamérica, el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) también ha cobrado gran relevancia en los últimos años, especialmente en el sector manufacturero, donde la eficiencia operativa depende en gran medida de la disponibilidad de los equipos. Un estudio realizado por Uribe (2020) en Perú. Esta investigación tuvo como objetivo implementar un plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para una máquina remalladora que indicaba baja disponibilidad debido a continuas paradas correctivas durante la jornada laboral. Por medio del análisis de criticidad y el análisis de modo y efecto de fallas (FMEA), se identificaron

los componentes más vulnerables y se dispusieron acciones preventivas adecuadas. Con una inversión de 3100 soles (aproximadamente \$900) para la capacitación al personal en mantenimiento autónomo, por lo que la empresa logró elevar la disponibilidad de la máquina hasta un 92 % destacando una mejora significativa en la eficiencia del proceso productivo. Este caso indica la efectividad del RCM como herramienta estratégica para optimizar los recursos, minimizar fallas y fortalecer la continuidad operativa en las industrias.

Las empresas ecuatorianas han avanzado notablemente en la implementación de metodologías de mantenimiento enfocadas a la eficiencia operativa, siendo el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) una de las más relevantes por su efectividad en la mejora de la disponibilidad de los equipos. Un claro ejemplo de ello es el estudio realizado por Tumbaco (2025) en Ecuador. Esta investigación tuvo como propósito optimizar la disponibilidad operativa de los equipos en el área de lavado de sal mediante la aplicación estructurada de la metodología RCM. El estudio realizó un diagnóstico la situación actual y determinó el contexto operativo de la empresa. Mediante el uso de herramientas de análisis AMFE se identificaron los equipos más críticos y se impusieron acciones técnicas orientadas a la confiabilidad operacional. Demostrando a través de los resultados las mejoras significativas, con un aumento del 24 % en el tiempo medio entre fallas (MTBF), una disminución del 31 % en el tiempo medio de reparación (MTTR) y un aumento de la disponibilidad operativa de hasta el 98.50 %, demostrando una gestión de mantenimiento mucho más eficiente, confiables y sostenible dentro del sector industrial ecuatoriano.

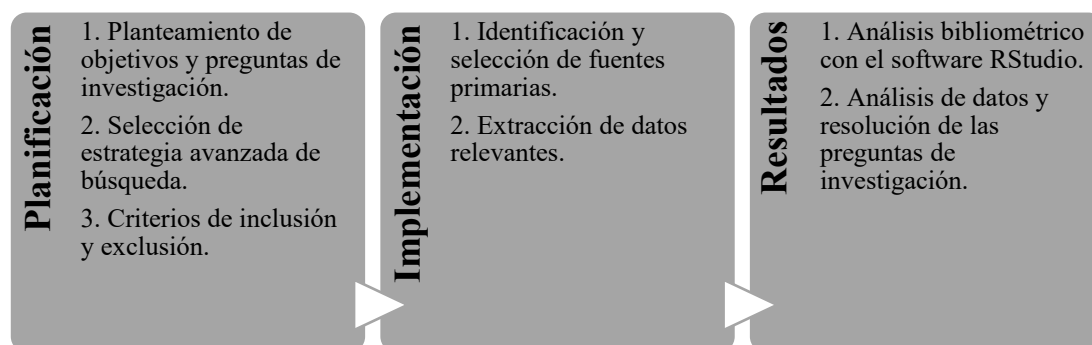
1.2. Estado del arte

El estado de arte es considerado como el análisis de varias fuentes de información sobre un campo o tema específico, con el objetivo de fundamentar un

estudio o investigación (Domínguez et al., 2022). Este estudio desarrolló el estado de arte mediante un análisis bibliométrico en conjunto con un mapeo sistemático de la literatura, proyectado en tres etapas en la Figura 1.

Figura 1.

Etapas de búsqueda



Nota. La secuencia de búsqueda de datos, elaborado por autor basado en Espinosa et al. (2024)

En la Figura 1, se ilustra la secuencia del estado del arte segmentada en tres pasos que son: i. Planificación, planteamiento de parámetros específicos que permiten tener dirección a la investigación. ii. Implementación, clasificación y análisis fuentes académicas para la obtención de una base de datos sólida y iii. Resultados, evaluación y análisis de las fuentes académicas seleccionadas por el software RStudio y resolución de las preguntas de investigación.

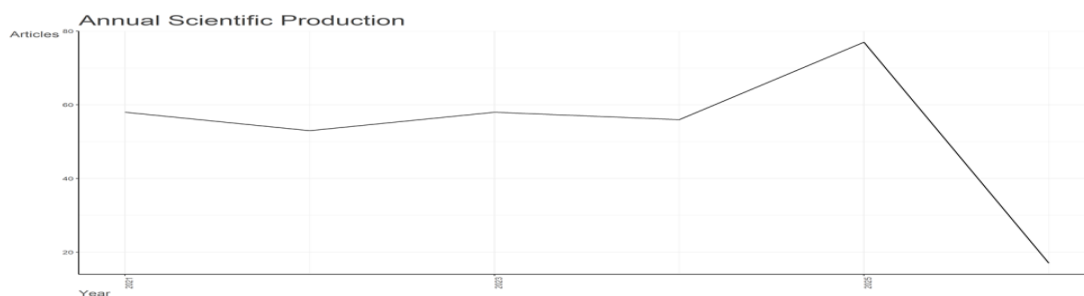
Resultados

¿Cuál es la tendencia mundial de las variables de estudio en la comunidad científica en los últimos años?

Conocer las tendencias mundiales de las variables de estudio dentro de la comunidad científica, permite analizar el impacto, la importancia y relevancia de un objeto de estudio a nivel global. Bajo este contexto, mediante el software RStudio se realizó un análisis bibliométrico para conocer la producción científica, palabras claves y la relación de las variables de estudio.

Figura 2.

Producción científica anual.

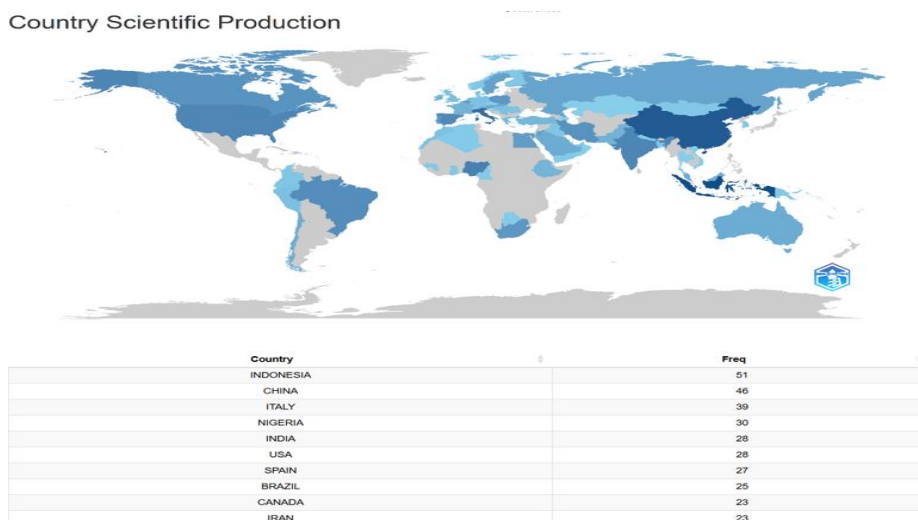


Nota. La línea de tendencia en los últimos años, elaborado mediante el software RStudio.

En la Figura 2, está representada la producción científica anual de los últimos 5 años a nivel mundial. La línea de tendencia se mantiene constante en los años anteriores al 2024, con aproximadamente 55 artículos publicados anualmente y un pico de producción cercano a 80 artículos en el año 2025. En conclusión, las variables estudiadas cuentan con una producción estable y con un nivel alto de interés dentro de la comunidad científica.

Figura 3.

Producción científica mundial.



Nota. Ilustra la producción científica en un mapamundi, extraído del software RStudio.

La Figura 3 muestra la producción científica a nivel mundial por medio de una representación del mapamundi, remarcando con un color azul más intenso los países donde existe mayor producción relacionada con las variables de estudio. Los

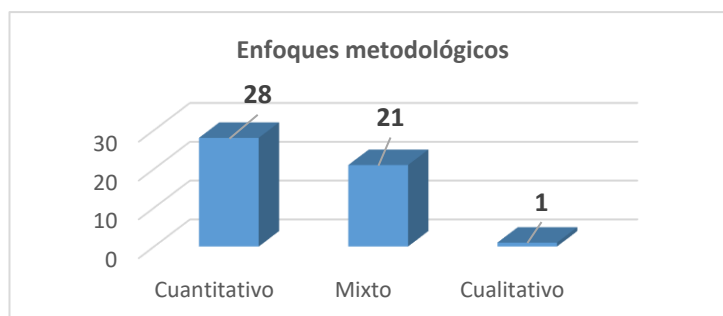
principales productores de artículos son Indonesia, China e Italia, con un rango de publicación entre 51 y 39 artículos. Países como Nigeria, India, Estados Unidos, España, Brasil, Canadá e Irán se encuentran en un rango de 30 a 23 artículos científicos desarrollados. Esta representación resalta la importancia y relevancia que tienen las variables de estudio a nivel global, demostrando los principales productores de artículos científicos referentes al tema de estudio.

¿Cuáles son los enfoques más utilizados por los autores en los artículos científicos seleccionados?

El enfoque metodológico caracteriza la manera en que se desarrolla un estudio, ya que puede ser cualitativo, cuantitativo o mixto. Para determinar el enfoque que tomará este estudio, se realizó un levantamiento de información de 50 artículos científicos con el objetivo de conocer la tendencia metodológica existente dentro de la comunidad académica.

Figura 4.

Enfoque metodológico.



Nota. Detalla los enfoques metodológicos más utilizados respecto a las variables de estudios.

En la Figura 4 se representan los enfoques más utilizados en una muestra de 50 estudios. El gráfico de barras demuestra que el enfoque cuantitativo con 28 estudios es el más frecuentado, el enfoque mixto es el segundo de la lista con 21 artículos científicos y el enfoque cualitativo es el menos aplicado con relación a investigaciones basadas en el RCM.

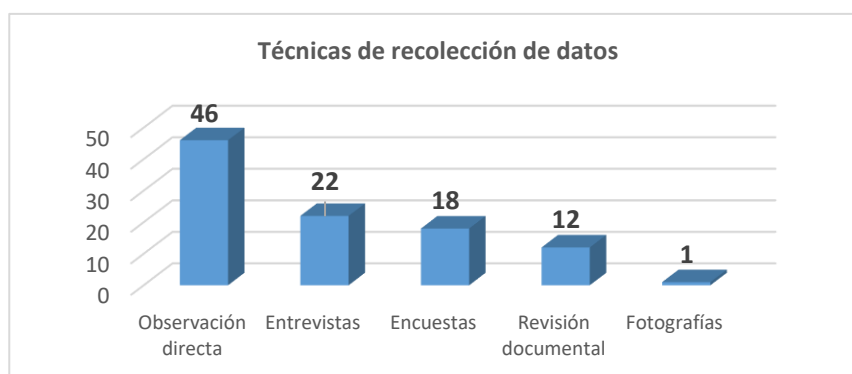
Dentro de la comunidad científica, los autores en sus estudios basados en el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad han preferido el enfoque cuantitativo, que se caracteriza por centrarse en datos numéricos. Sin embargo, también se refleja una amplia tendencia en el uso del enfoque mixto, el cual permite añadir análisis de características o cualidades del objeto de estudio.

¿Qué técnicas e instrumentos fueron más utilizados por los autores en los estudios analizados?

Conocer las técnicas e instrumentos de recolección de datos adecuadas pueden marcar la diferencia en un estudio, por ese motivo, se seleccionó una muestra específica de artículos científicos que ayudaran a identificar los principales métodos de recolección de datos. A continuación, en la Figura 5, se presenta el resumen de las técnicas de recolección de datos.

Figura 5.

Técnicas de recolección de datos.

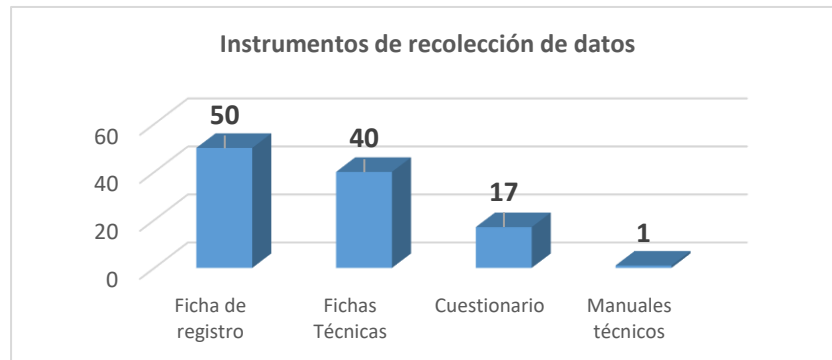


Nota. Las técnicas de recolección de datos más frecuentadas dentro de las bases de datos.

La Figura 5 resume en un gráfico de barras las principales técnicas de recolección de datos. La técnica más utilizada es la observación directa, con una frecuencia de 46 de 50 artículos científicos. Las entrevistas, encuestas y revisión documental fueron aplicadas en 22, 18 y 12 estudios, respectivamente. Por último, también se menciona la recolección de datos mediante fotografías.

Figura 6.

Instrumentos de recolección de datos.



Nota. Registro de instrumentos de recolección de datos extraídos de las bases de datos.

La Figura 6 evidencia los instrumentos de recolección de datos que utilizan los estudios enfocados al RCM. La ficha de registro es la más utilizada encontrándose en todos los estudios, otros instrumentos muy frecuentes son las fichas técnicas (40), cuestionarios (17) y manuales técnicos (1). Cada una de estas herramientas, facilitaran la recolección de información clave que permita el desarrollo de un mantenimiento centrado en la confiabilidad.

En conclusión, las principales técnicas de recolección de datos son la observación directa, las entrevistas y los cuestionarios. Por otra parte, los instrumentos más utilizados por los autores para el levantamiento de información son las fichas de registro, las fichas técnicas y los cuestionarios.

1.3. Fundamentos teóricos

Reliability Centered Maintenance (RCM)

El RCM o Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad se define como una herramienta que facilita identificar y prevenir los modos de falla, con el objetivo de optimizar los procesos y el diseño del sistema (Castañeda et al., 2024). Su aplicación consta de tres fases: primero, establecer los límites del sistema y sus operaciones; segundo, identificar las principales fallas y sus posibles causas; y tercero, determinar

los efectos de las fallas (Vidya & Aidil, 2023). La normativa SAE JA1011 establece 7 preguntas como criterios mínimos para cumplir un mantenimiento centrado en la confiabilidad, según Campos-López et al. (2019) las preguntas son las siguientes:

- ¿Cuáles son las funciones del activo en su contexto de operación actual?
- ¿De qué maneras puede fallar al cumplir sus funciones?
- ¿Qué causa cada fallo funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada fallo funcional?
- ¿De qué manera afecta cada falla?
- ¿Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada fallo?
- ¿Qué hacer cuando una tarea proactiva no está disponible?

Análisis de criticidad

El análisis de criticidad es un método que establece una estructura jerárquica que mide el riesgo en sistema, equipos o instalaciones con la finalidad de facilitar la toma de decisiones y permite enfocar los esfuerzos y recursos al área de impacto que más lo requiere (Peñañiel et al., 2021). En la Tabla 1, se encuentran los aspectos a evaluar.

Tabla 1.

Puntaje de los criterios.

FORMATO PARA ENCUESTA DE ANÁLISIS DE CRITICIDAD	
1. NIVEL DE USO DE LA MAQUINARIA No más de 4 horas por día. Entre 5 y 8 horas por día. Entre 9 y 12 horas por día. Entre 13 y 16 horas por día. Entre 17 y 24 horas por día.	6. COSTOS DE REPARACIÓN (MILES DE NUEVOS SOLES) No origina ningún costo. Menos de mil. Entre mil y 3 mil. Entre 3 y 5 mil. Más de 5 mil.
2. FRECUENCIA DE FALLA (Todo tipo de falla) No más de 1 por año. Entre 2 y 15 por año. Entre 16 y 30 por año. Entre 31 y 50 por año. Más de 50 por año.	7. IMPACTO AMBIENTAL No origina ningún impacto ambiental. Contaminación ambiental baja. Contaminación ambiental moderada. Contaminación ambiental alta.
3. TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (MTTR) Menos de 4 horas. Entre 4 y 8 horas. Entre 8 y 24 horas.	8. IMPACTO EN SALUD Y SEGURIDAD DE PERSONAL No origina heridas ni lesiones. Puede ocasionar lesiones o heridas leves no incapacitantes. Puede ocasionar lesiones o heridas graves con incapacidad temporal entre 30 días.

Entre 24 y 48 horas.	Puede ocasionar lesiones con incapacidad superior a 30 días o incapacidad parcial permanente.
Más de 48 horas.	
4. IMPACTO SOBRE LA PRODUCCIÓN	9. IMPACTO EN LA CALIDAD DEL PRODUCTO FINAL
No afecta la producción.	No ocasiona pérdidas económicas en las áreas (producción, ventas).
25 % de impacto.	Puede ocasionar pérdidas económicas mayores de 100 < 500 dólares.
50 % de impacto.	Puede ocasionar pérdidas económicas mayores de 500 < 1000 dólares.
75 % de impacto.	Puede ocasionar pérdidas económicas mayores de 1000 dólares.
100 % de impacto.	
5. REEMPLAZO DE EQUIPOS / ACCESORIOS	10. ASISTENCIA TÉCNICA
Sí existe.	Sí existe.
Regular.	Regular.
Escasa.	Escasa.
No existe.	No existe.

Nota. Aspectos por evaluar en el análisis de criticidad, extraído del estudio de (Benel, 2019) titulado “Propuesta de un sistema de gestión de mantenimiento para aumentar la rentabilidad en la empresa agroindustrias y comercio S.A.” (pág. 26).

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)

El Análisis de Modos y Efectos de Fallas es una técnica de prevención para identificar, gestionar y mitigar posibles riesgos. Además, es útil para mejorar la calidad del producto, reducir costos de retrabajos y defectos en los productos (Asfaw et al., 2026).

NPR (número de prioridades de riesgo)

El NPR se caracteriza por analizar los modos de fallas en tres aspectos: Severidad (S), ocurrencia (O) y detención (D). El índice de severidad consta de 4 parámetros (seguridad, medio ambiente, producción y costos) que miden de un valor de 1 al 10 el nivel de efectos de fallos. La tasa de ocurrencia es la frecuencia en la que se repite un fallo y se la evalúa con un valor del 1 al 10. El índice de detección es la probabilidad de detectar la aparición de falla de un sistema, es evaluado con un valor del 1 al 10 (Martinez-Monseco, 2021).

A continuación, en la ecuación 1 se presenta su fórmula:

Ecuación 1.

Nivel de prioridad de riesgo.

$$NPR = S * D * O$$

Nota. Ecuación extraída del artículo “Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos” (pg. 55). (Campos-López et al., 2019).

En la Tabla 2, se muestra la clasificación de los índices de severidad con los criterios.

Tabla 2.

Índice de severidad.

ÍNDICE DE SEVERIDAD (S)		
Valor	Clasificación	Criterio
1	Escasa.	Sin afectación a la producción, calidad o seguridad.
2-3	Baja.	Interrupción menor a 15 minutos y afectación leve.
4-6	Moderada.	Interrupción entre 15 minutos y 1 hora, afectación moderada al rendimiento o calidad.
7-8	Alta.	Interrupción entre 1 y 4 horas, afectación importante al proceso o seguridad.
9-10	Muy Alta.	Interrupción superior a 4 horas, daños severos al equipo, producción o seguridad.

Nota. Datos extraídos del artículo “Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos” (pág. 56) (Campos-López et al., 2019).

La Tabla 3 presenta los índices de ocurrencia, la clasificación y los criterios a evaluar.

Tabla 3.

Índice de ocurrencia.

ÍNDICE DE OCURRENCIA (O)		
Valor	Clasificación	Criterio
1	Escasa.	Existe mantenimiento predictivo y la falla es remota.
2-3	Baja.	Existe mantenimiento preventivo y autocontrol; la falla ocurre raramente.
4-5	Moderada.	El mantenimiento preventivo no es totalmente eficaz; la falla ocurre ocasionalmente.
6-8	Alta.	No existe autocontrol y la falla ocurre continuamente.
9-10	Muy Alta.	No existe mantenimiento preventivo ni autocontrol; la falla ocurre frecuentemente.

Nota. Datos extraídos del artículo “Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos” (pág. 56) (Campos-López et al., 2019).

La Tabla 4, muestra la clasificación y los criterios a evaluar del índice de detección.

Tabla 4.

Índice de detectabilidad.

ÍNDICE DE DETECCIÓN (D)		
Valor	Clasificación	Criterio
1	Remota.	La falla es fácilmente detectable y puede corregirse sin afectar la producción.
2-3	Poca.	Los controles detectan la falla antes de afectar significativamente el proceso.
4-5	Mediana.	Existen controles, pero no siempre detectan la falla oportunamente.
6-8	Alta.	Los controles difícilmente detectan la falla antes del efecto.
9-10	Muy Alta.	No existen controles efectivos para detectar la falla.

Nota. Datos extraídos del artículo “Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos” (pág. 55) (Campos-López et al., 2019).

La Tabla 5 presenta los niveles de riesgos con los intervalos NPR.

Tabla 5.

Niveles de riesgo.

Intervalos (NPR)	Criterios
251-1000	Riesgo alto.
63-250	Riesgo moderado.
1-62	Riesgo bajo.

Nota. Datos extraídos del artículo “Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos” (pág. 56) (Campos-López et al., 2019a).

Productividad

La productividad es la relación entre los resultados y las entradas, es decir, es un indicador de desempeño para conocer la efectividad de aumentar la producción con

los mismos recursos o menos. Como indicador puede evaluar factores como mano de obra, maquinaria, materia prima, utilidades y capital (Opan et al., 2026).

MTBF (Mean Time Between Failures)

El MTBF se define como el tiempo promedio entre fallos, es decir, es la relación entre el tiempo total de operaciones y el número total de fallas (Paoprasert et al., 2022). Su ecuación es la siguiente:

Ecuación 2.

Tiempo medio entre fallas.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de operación}}{\text{Numero total de fallos}}$$

Nota. Ecuación extraída del artículo “Impacto de la gestión del MTBF y MTTR en el índice de disponibilidad de camiones mineros Caterpillar 785-793” (Loyola & Olivera, 2025) (pág. 53).

MTTR (Mean Time To Repair)

El MTTR es el tiempo promedio requerido para reparar un equipo o sistema en modo de falla, para conocer el MTTR es necesario sumar los tiempos en reparaciones y dividirlo para el numero de reparaciones (Puji, 2022). La ecuación del MTTR es la siguiente:

Ecuación 3.

Tiempo medio entre reparaciones.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de mantenimiento}}{\text{Número total de reparaciones}}$$

Nota. Ecuación extraída del artículo “Impacto de la gestión del MTBF y MTTR en el índice de disponibilidad de camiones mineros Caterpillar 785-793” (Loyola & Olivera, 2025) (pág. 53).

Disponibilidad de los equipos

Disponibilidad de equipos es un indicador que permite identificar si la máquina o el equipo se encuentra en condiciones óptimas para su uso en el momento en el que

sea necesaria su función o actividad, considerando de igual manera su tiempo de mantenimiento.

Ecuación 4.

Disponibilidad de los equipos.

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100$$

Nota. Ecuación extraída del artículo “Aplicación de un modelo estocástico para el Análisis RAM de Máquinas Rotatorias en la Industria 4.0” (Zambrano & Ponsot, 2023) (pág. 5).

Confiabilidad

Es una medida que representa la probabilidad de que un equipo o maquinaria realice correctamente sus actividades durante un tiempo específico y bajo determinadas condiciones de operación, logrando completar su trabajo sin experimentar fallas o interrupciones en su funcionamiento.

Ecuación 5.

Confiabilidad

$$Confiabilidad = e^{-\frac{t}{MTBF}}$$

Nota. Ecuación extraída del artículo “Aplicación de un modelo estocástico para el Análisis RAM de Máquinas Rotatorias en la Industria 4.0” (Zambrano & Ponsot, 2023) (pág. 5).

CAPÍTULO II

MARCO METODOLÓGICO

2.1. Enfoque de investigación

El enfoque de investigación más adecuado para este estudio es el cuantitativo, de acuerdo con Valle et al. (2022) formulan una hipótesis que es sometido a pruebas, recogiendo datos que describen, miden y explican los fenómenos de las variables de estudios. En este caso los datos a analizar fueron indicadores de productividad como el OEE, MTBF y MTTR.

2.2. Diseño de investigación

El diseño de investigación define una secuencia y enmarca un camino a seguir con el objetivo de ordenar y clasificar el procedimiento de la investigación (Mollo, 2023). En este caso, el estudio es de tipo no experimental, porque no se modifica el objeto de estudio, ya que se analizan las causas y efectos en un entorno ya existente.

Este trabajo sigue una secuencia de estudio transversal porque es necesario segmentar un periodo de tiempo específico para identificar la causa raíz del problema y determinar cuál es el FMEA de la empresa Lepabi Cía. Ltda. Por otra parte, el alcance de la investigación es descriptivo – correlacional.

Investigación descriptiva: describe situaciones de manera detallada, analiza características y representa eventos de manera precisa (Zúñiga et al., 2023). Para este estudio es fundamental describir de manera precisa conceptos, procesos y metodologías.

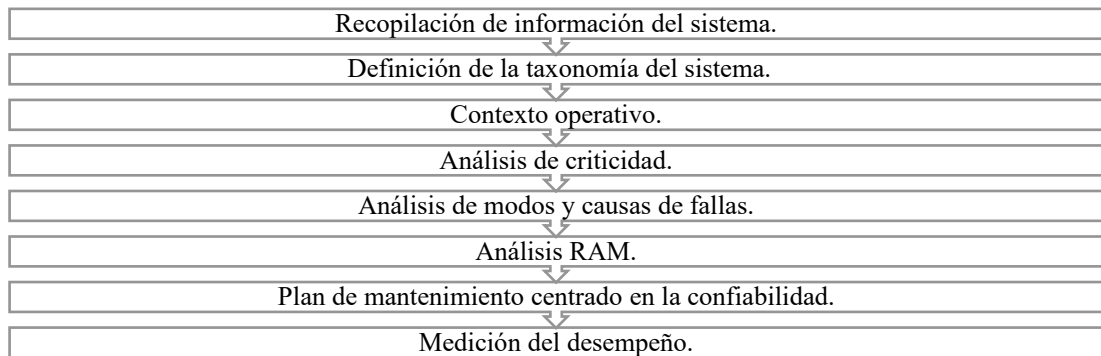
Investigación correlacional: determina la relación que existe entre las variables de estudio (Zúñiga et al., 2023). El nivel de correlación de las variables indica y prueban la hipótesis general del estudio, por ende, es importante establecer como influye la variable independiente con respecto a la variable dependiente.

2.3. Procedimiento metodológico

El procedimiento metodológico está bajo la normativa SAE JA1011 basada en la metodología mantenimiento centrado a la confiabilidad, esta norma indica los parámetros a seguir para la correcta aplicación del método RCM. A continuación, se presenta el procedimiento metodológico en la Figura 7.

Figura 7.

Procedimiento metodológico del RCM.



Nota. En la figura se observa el proceso para la implementación del RCM extraída del estudio “Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efecto” elaborado por Campos-López et al. (2019b) (p. 53).

En la Figura 7, se identifica el proceso que llevó este estudio para implementar la metodología RCM. El procedimiento metodológico inició con la recopilación de información, siguiendo con la definición del sistema según la taxonomía de equipos y la documentación del contexto operativo. En su fase intermedia, se encuentra el análisis de criticidad y el análisis de modos y causas de falla, junto con la categorización de los efectos de falla y el análisis RAM, que analizó indicadores como el OEE, MTBF y MTTR. Finalmente, el proceso culmina con la implementación del plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad y la medición de su desempeño.

2.4. Población y muestra no probabilística

2.4.1. Población

La población es parte de un universo en el que se realiza un estudio, es decir, un conjunto de objetos en el que se quiere investigar ciertas características (Salazar Salazar, 2021). La población de este estudio estuvo conformada por 20 trabajadores de la empresa, incluyendo al personal operativo y administrativo.

Criterios de inclusión: todo el personal del área de mantenimiento, experiencia mínima de 1 año en el área estudio y voluntarios o colaboradores que acepte ser parte de este estudio.

Criterios de exclusión: personal que no pertenezca al área de mantenimiento, sin experiencia en el área de estudio, personal que no se encuentre disponible y los que no deseen colaborar con el estudio.

Tabla 6.

Población de la empresa Lepabi Cía. Ltda.

Personal	Sexo		Total
	Masculino	Femenino	
Administrativos.	2	0	2
Mantenimiento.	5	0	5
Bodega.	1	0	1
Operarios.	14	0	14
Total	22	0	22

Nota. La Tabla 6 muestra todo el personal que trabaja en Lepabi Cía. Ltda.

2.4.2. Muestra

Es el conjunto de individuos que son extraídos de una población, por medio de un método específico (Aníbal et al., 2021). En este caso, se extrajo la muestra aplicando criterios como: trabajadores del área de mantenimiento, experiencia de mínimo 1 año en el área de estudio y voluntarios que quieran colaborar a esta investigación.

Tabla 7.

Muestra.

Personal	Sexo		Total
	Masculino	Femenino	
Mantenimiento.	5	0	5
Bodega.	1	0	1
Operarios.	14	0	14
Total	20	0	20

Nota. La Tabla 7, segmenta la muestra de la población de la empresa Lepabi Cía. Ltda.

Muestreo

El muestreo tiene como función, identificar características necesarias que aportan información a la investigación (Martello & Cleve, 2024). El muestreo que más se adapta a este estudio, es el muestro no probabilístico porque necesitamos información concreta y específica. Este método es característico por plantear criterios específicos para selección la muestra representativa de la población.

2.5. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de los datos (adaptada a la unidad de análisis y tipo de estudio)

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad es una herramienta que necesita datos específicos para su correcta aplicación, por ello, es importante determinar y definir el método, técnica e instrumentos de recolección de datos.

2.5.1. Métodos de recolección de los datos

El método de recolección de datos es el procedimiento por seguir para el levantamiento de información, estableciendo una serie de operaciones y reglas (Ordoñez-Pacheco, 2025). El método seleccionado es el inductivo–deductivo, porque permitió analizar los datos y comprobar la hipótesis general. Como método complementario se emplea el analítico–sintético, el cual ayuda a analizar las causas y sus efectos, así como a integrar la información para elaborar el plan de mantenimiento.

2.5.2. Técnicas de recolección de los datos

La técnica de recolección de datos es la estrategia que se utilizan para la recopilación de información (Guanoluisa-Almache et al., 2023). A continuación, en la Tabla 8 se presentan las técnicas de recolección de datos empleadas en este estudio.

Tabla 8.

Técnicas de recolección de datos.

Técnicas de recolección de datos	Descripción
Observación directa.	Identificar los equipos, verificar el estado del sistema y registrar datos técnicos.
Encuesta.	Determinar la frecuencia de fallos, las causas de fallos, criticidad de los equipos y disponibilidad de los equipos.
Revisión documental.	Fichas técnicas, registros de falla de equipos, costos de mantenimiento, cronograma y registro de mantenimiento.

Nota. Se evidencia las técnicas de recolección de datos con sus respectivas descripciones.

2.5.3. Instrumentos de recolección de los datos

Los instrumentos de recolección de datos son las herramientas usadas para recopilar la información requerida, estas pueden ser cuestionarios, guías de entrevistas, fichas entre otros (Acosta, 2023). Los instrumentos están presentados en la Tabla 9 con una breve descripción de su utilización.

Tabla 9.

Instrumento de recolección de datos.

Instrumentos de recolección de datos	Descripción
Ficha de registro.	Recopilación de datos técnicos de los equipos, defectos en los equipos e información relevante de los equipos.
Fichas técnicas.	Identificar los componentes, partes y piezas de los equipos.
Encuesta.	Preguntas claves para identificar la causa raíz de las fallas de los equipos.
Manuales técnicos.	Recopilar información técnica de los equipos, tiempo de vida y mantenimiento.

Nota. los instrumentos de recolección de datos y la descripción de su uso.

2.6. Variable del estudio

- Variable independiente: Mantenimiento centrado en la confiabilidad.
- Variable dependiente: productividad operacional.

Tabla 10.

Operacionalización de variable independiente.

Variable Independiente	Concepto	Dimensión	Indicadores	Preguntas	Técnicas e Instrumento	
Mantenimiento centrado en la confiabilidad	Es un proceso que determina requerimientos que aseguran que un elemento físico cumpla correctamente las funciones deseadas, mediante la identificación de modos de fallas y determinación de las causas y efectos, para mejorar la disponibilidad de los equipos y prevenir modos de fallas en los equipos (Castañeda et al., 2024).	Identificación de funciones del sistema.	Definición de funciones del equipo Estándares de desempeño de los equipos.	¿Se encuentran definidas las funciones de los equipos del sistema? ¿Se han definido criterios para el funcionamiento de los equipos?	Encuesta y observación.	Cuestionario y hoja de registro RCM.
		Análisis de fallas funcionales.	Registro de fallas funcionales.	¿Se registran las fallas funcionales que afectan al desempeño del sistema?	Encuesta y revisión documental.	Cuestionario y ficha técnica.
			Frecuencia de ocurrencia de fallas.	¿Se analiza la frecuencia con que ocurren las fallas en los equipos?	Encuesta.	Cuestionario y hoja de registro RCM.
		Identificación de modos de fallas.	Determinación de modos de falla.	¿Se identifican los modos de fallas de los equipos más importantes?	Encuesta y revisión documental.	Cuestionario y hoja de registro RCM.
			Clasificación de modos de falla.	¿Las fallas de los equipos se clasifican según su importancia o impacto?	Encuesta.	Cuestionario.
		Análisis de efectos de fallas.	Evaluación de consecuencias operacionales.	¿Se analizan las consecuencias que generan las fallas en la operación?	Encuesta.	Cuestionario y hoja de registro RCM.
			Impacto de las fallas en la producción.	¿Se evalúa el impacto de las fallas en la continuidad del proceso productivo?	Encuesta.	Cuestionario, ficha técnica y hoja de registro RCM.
		Selección de estrategias de mantenimiento.	Definición de tareas preventivas o predictivas.	¿Se establecen acciones de mantenimiento para prevenir fallas en los equipos?	Encuesta y revisión documental.	Cuestionario y ficha técnica.
			Priorización del mantenimiento según criticidad.	¿Qué tipo de mantenimiento utilizan normalmente en los equipos importantes?	Encuesta.	Cuestionario.

Nota. Matriz de operacionalización de variables independiente.

Tabla 11.

Operacionalización de variable dependiente.

Variable Dependiente	Concepto	Dimensión	Indicadores	Preguntas	Técnicas e Instrumento	
Productividad	La productividad operativa se define como la cantidad de productos obtenidos con relación a los recursos gastados, por medio de metodologías y herramientas que mejoran la eficiencia (Antunez, 2019).	Disponibilidad de equipos.	Porcentaje de disponibilidad de equipos.	¿En qué condiciones se encuentran los equipos?	Encuesta y revisión documental.	Cuestionario y ficha técnica.
			Tiempo promedio entre fallas (MTBF).	¿Cada qué periodo de tiempo normalmente fallan los equipos?	Encuesta y revisión documental.	Cuestionario y ficha técnica.
		Mantenibilidad de los equipos.	Tiempo promedio de reparación (MTTR).	¿Cuál es el tiempo promedio necesario para reparar los equipos cuando ocurre una falla?	Encuesta y revisión documental.	Cuestionario y ficha técnica.
			Tiempo de parada por mantenimiento.	¿Cuál es el tiempo total de parada de equipos debido a mantenimiento?	Encuesta y revisión documental.	Cuestionario y ficha técnica.
		Eficiencia global del equipo.	Índice de eficiencia global del equipo (OEE).	¿Cómo es el desempeño de los equipos durante la operación?	Encuesta y revisión documental.	Cuestionario y ficha técnica.
			Rendimiento operativo del equipo.	¿Los equipos operan de acuerdo con su capacidad productiva esperada?	Encuesta y revisión documental.	Cuestionario y ficha técnica.
		Confiabilidad operativa.	Frecuencia de fallas en equipos críticos.	¿Con qué frecuencia se presentan fallas en los equipos críticos del proceso?	Encuesta y revisión documental.	Cuestionario y ficha técnica.
			Tasa de fallas del sistema.	¿Con qué frecuencia se presentan fallas durante la operación?	Encuesta y revisión documental.	Cuestionario y ficha técnica.
		Eficiencia operativa.	Tiempo de respuesta ante fallas.	¿Qué tan rápido se atienden las fallas cuando ocurren en los equipos?	Encuesta y revisión documental.	Cuestionario y ficha técnica.
			Frecuencia de paradas por fallas.	¿Con qué frecuencia se detienen los equipos debido a fallas?	Encuesta y revisión documental.	Cuestionario y ficha técnica.

Nota. Matriz de operacionalización de variable dependiente.

Operacionalización de las variables

La operacionalización de variable según Bauce et al. (2018), permite medir la relación de las variables de estudio y establecer los instrumentos necesarios para la recolección de datos, por medio de dimensiones, indicadores y preguntas. En las Tablas 10 y 11, está representada la matriz de operacionalización de variables independiente y dependiente.

2.7. Procedimiento para la recolección de los datos

El procedimiento de recolección de datos consistió en la elaboración de fichas de registro y fichas técnicas dirigidas a los equipos del laboratorio Lepabi Cía. Ltda., con el objetivo de conocer las características y datos técnicos de los equipos. Además, se aplicó un cuestionario estructurado de 20 preguntas dirigido a los trabajadores y al jefe del área de mantenimiento, con la finalidad de obtener información clave para el diagnóstico situacional y la implementación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

La validación del instrumento busca garantizar una correcta elaboración de la encuesta y obtener datos confiables. Por este motivo, el cuestionario fue sometido a evaluaciones y revisiones por parte de profesionales en el área de estudio, con suficiente experiencia para aportar observaciones y sugerencias orientadas a la mejora del instrumento.

Posteriormente al levantamiento de información, es necesario evaluar los datos mediante el coeficiente de Cronbach para determinar si la información recopilada se encuentra dentro del rango de fiabilidad. Por otra parte, la correlación de las variables, determinada mediante el coeficiente de Pearson, permite conocer el nivel de relación entre las variables de estudio, lo que facilita establecer si la hipótesis de investigación es aceptada o nula.

2.8. Plan de análisis e interpretación de datos

Tabla 12.

Plan de análisis e interpretación de datos.

Objetivo	Procedimiento	Instrumentos	Resultados esperados
OE1: Desarrollar una revisión bibliográfica de la literatura sobre metodologías y aplicaciones del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), mediante el método bibliométrico para el respaldo de la base teórica sólida.	1. Búsqueda de artículos científicos.	1. Bases de datos (Scopus, Lens, Dimensions, Science Direct).	1. Selección de los artículos científicos referentes a las variables de estudio.
	2. Revisión de la literatura.	2. Software Rstudio.	2. Tendencias a nivel mundial, palabras claves y el establecimiento de una teoría sólida.
	3. Análisis bibliométrico.		
OE2: Estructurar un marco metodológico en base a artículos científicos relacionados al Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para la selección de la metodología, técnicas e instrumentos de recolección de datos.	1. Establecer diseño, alcance y enfoque de investigación.	1. Diseño no experimental, enfoque cuantitativo y descriptiva-correlacional.	1. Procedimiento metodológico.
	2. Definir las herramientas e instrumentos de recolección de datos.	2. Fichas técnicas, fichas de registro RCM y cuestionario.	2. Las técnicas e instrumentos de recolección de datos.
OE3: Elaborar la propuesta de un plan de mantenimiento por medio del RCM para el mejoramiento de la productividad, eficiencia y disponibilidad de los equipos del laboratorio.	1. Desarrollo de la propuesta de mejora.	1. Identificar modos de fallas y efectos.	1. Análisis de resultados de los modos de fallas y efectos.
		2. Categorización de fallas.	2. Mejora en la confiabilidad del mantenimiento de los equipos.
		3. Medición del desempeño.	

Nota. Procedimientos y resultados esperados en este estudio.

CAPÍTULO III

MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Marco de resultados

Esta sección está conformada por los resultados obtenidos en este estudio, los hallazgos derivados de los instrumentos de recolección de datos y el desarrollo de la propuesta de mejora. Para ello, es importante demostrar la validez y confiabilidad del cuestionario estructurado, de manera que los datos recopilados sean precisos y fiables.

3.2. Validez y confiabilidad de los instrumentos de investigación utilizados

El instrumento evaluado es un cuestionario estructurado de 20 preguntas relacionada a las variables de estudio Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad y productividad (Anexo A). A continuación, el instrumento fue sometido a varios criterios y evaluaciones.

3.2.1. Validez del instrumento de recolección de datos

La validación del instrumento pretende medir y evaluar el constructo con la finalidad de tener claridad y objetividad en las preguntas, que serán expuestas al objeto de estudio y evaluadas por juicio de expertos (Anexo B). Bajo este contexto, para la validación del instrumento se escogieron 5 expertos con experiencia en el área de estudio y con un alto grado académico. En la Tabla 13, detalla la información clave en la selección de los expertos.

Tabla 13.

Datos de expertos.

Nº de experto	Grado académico	Años de experiencia
Experto 1	PHD	25
Experto 2	PHD	18
Experto 3	PHD	15
Experto 4	MSc	10
Experto 5	MSc	16

Nota. Información de los expertos.

Los expertos evaluaron aspectos como la relación entre las variables, indicadores y dimensiones como se puede visualizar en el Anexo B. Otros aspectos a calificar por los profesionales en el área de estudio están ponderados en la Tabla 14 y detallado en el Anexo C.

Tabla 14.

Resultados de la validación de los expertos.

Aspectos de validación	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Experto 4	Experto 5	Promedio
Claridad.	97	99	90	94	95	95
Objetividad.	96	95	99	98	97	97
Actualidad.	94	91	96	93	92	93,2
Organización.	98	99	97	91	94	95,8
Suficiencia.	91	97	92	99	95	94,8
Intencionalidad.	96	99	95	90	93	94,6
Consistencia.	95	94	94	92	98	94,6
Coherencia.	95	92	98	95	99	95,8
Metodología.	90	100	94	98	91	94,6
Pertinencia.	97	92	96	94	100	95,8
Total	94,9	95,8	95,1	94,4	95,4	95,12

Nota. Calificación ponderada por cada uno de los expertos

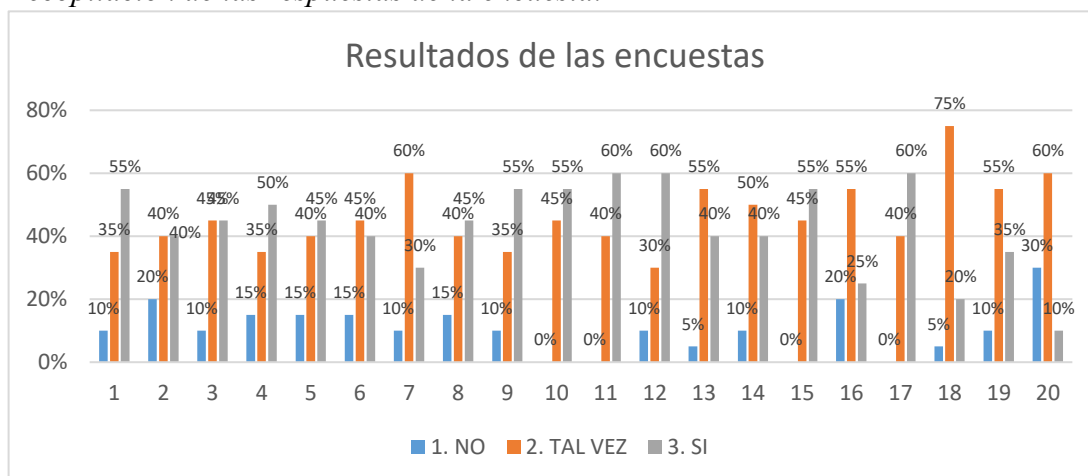
La Tabla 14, presenta la calificación de los expertos en aspectos clave para la aprobación. La claridad, objetividad, consistencia y coherencia son algunos de los aspectos fundamentales para recolectar datos precisos, según los expertos el instrumento evaluado tiene una calificación total de 95,12. En conclusión, los expertos aprueban y validan el cuestionario con una puntuación totalmente adecuada (Anexo D).

3.2.2. Análisis de los resultados de la encuesta.

Para analizar las respuestas de los encuestados, se desarrolló un gráfico de barras recopilando las respuestas en base a la escala de Likert.

Figura 8.

Recopilación de las respuestas de la encuesta.



Nota. La figura detalla las respuestas más frecuentadas de la encuesta.

La Figura 8, ilustra de manera gráfica las respuestas recopiladas en la encuesta. Se observa que existen preguntas predominadas con la respuesta “3. Sí”, mientras que en otras la respuesta “2. Tal vez” marca los picos más altos de la encuesta y, por último, la respuesta “1. No” es la menos frecuentada por los encuestados. En primeras instancias es lo más notable, no obstante, en la tabla, detalla de mejor manera cada uno de los aspectos recolectados de la empresa Lepabi Cía. Ltda.

3.2.3. *Confiabilidad del instrumento de recolección de datos*

Para garantizar respuestas confiables en la recolección de datos, se realizó un cálculo basado en el coeficiente de Cronbach en el software IBM SPSS Statistics 27.

Tabla 15.

Coeficiente de Cronbach.

Estadística de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	Nº de elementos
0,782	20

Nota. Elaborado en el software IBM SPSS Statistics 27.

En la Tabla 15, se encuentra el resultado del cálculo del coeficiente alfa de Cronbach. En este caso, la confiabilidad del instrumento aplicado en este estudio es de 0.782 y según el coeficiente de Cronbach está dentro de los parámetros aceptables. En

conclusión, los instrumentos aplicados obtuvieron respuestas e información aceptables y fiables para este estudio.

3.2.4. *Correlación de variables*

Para conocer el nivel de correlaciones que existe entre nuestras variables de estudio, es necesario identificar si nuestros datos recopilados son normales o anormales. En la Tabla 16, se aprecia los parámetros específicos que se deben cumplir.

Tabla 16.

Valor de significancia p.

Valor p	Interpretación
p>0.05	Los datos son normales.
p<0.05	Los datos no son normales.

Nota. Parámetros de significancia considerables para determinar datos normales.

Según la Tabla 16, los datos mayores que 0.05 son considerados normales, mientras tanto, los datos menores a 0.05 los interpretan como no normales. A continuación, se desarrolló la prueba de normalidad de Shampiro-Wilk en el software IBM SPSS Statistics 27.

Tabla 17.

Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.

Prueba de normalidad Shapiro-Wilk				
	Estadístico	gl	Sig.	
VI	0,886	20		0,23
VD	0,863	20		0,009

Nota. Prueba realizada en el software IBM SPSS Statistics 27.

La prueba de normalidad de Shampiro-Wilk ilustrada en la Tabla 17, indica que, de 20 individuos evaluados con respecto a la variable independiente, existió una significancia de 0.23, mientras que en la variable dependiente obtuvo un valor de 0,009. Según la Tabla 22, el valor p es menor que 0.05, por lo tanto, son datos no normales.

Existen dos maneras de conocer el grado de correlación de variables, uno de ellos es el coeficiente de Spearman, el cual es aplicado cuando los datos no son normales, siendo el más adecuado y conveniente para este estudio. En la Tabla 18, desglosa los valores de ρ y sus interpretaciones necesarias para saber el nivel de correlación.

Tabla 18.

Niveles de correlación Spearman.

Valor de ρ	Interpretación
0.00 – 0.19	Correlación muy baja o inexistente.
0.20 – 0.39	Correlación baja.
0.40 – 0.59	Correlación moderada.
0.60 – 0.79	Correlación alta.
0.80 – 1.00	Correlación muy alta.

Nota. Valores de correlación Spearman

La Tabla 18, indica los niveles de correlación de variables Spearman. Valores de 0 a 0.39 son considerados bajos, mientras que desde 0.4 a 0.59 se interpreta que hay una correlación moderada, no obstante, de 0.6 a 1.00 ya se considera como una correlación alta y aceptables para cualquier estudio.

3.2.5. Verificación de la hipótesis

La hipótesis general de estudio son las siguiente:

H₁: La aplicación de la metodología Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad mejorara notablemente la productividad de la empresa Lepabi Cía. Ltda.

H₀: La aplicación de la metodología Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad no mejorara notablemente la productividad de la empresa Lepabi Cía. Ltda.

Para que la hipótesis de estudio sea aceptada la prueba de correlación de variables de Rho de Spearman debe dar como resultado mayor a 0.6 y con un nivel de significancia menor a 0.05, no obstante, si el valor es menor a 0.6 o su nivel de significancia es mayor a 0.05 la hipótesis es rechazada inmediatamente.

A continuación, en la Tabla 19 se detalla todos los parámetros resultantes del Coeficiente de Spearman desarrollado en el software IBM SPSS Statistics 27.

Tabla 19.

Prueba de correlación de variables Rho de Spearman.

		Correlaciones		
			VI	VD
Rho de Spearman	VI	Coeficiente de correlación	1,000	0,874
		Sig. (bilateral)		<0,001
		N	20	20
	VD	Coeficiente de correlación	0,874	1,000
		Sig. (bilateral)	<0,001	
		N	20	20

Nota. Prueba realizada en el software IBM SPSS Statistics 27.

Los resultados mostrados en la Tabla 19, indican claramente que el coeficiente de correlación es de 0.87 para la variable independiente y la dependiente, de igual manera la significancia es de 0.001 para ambas variables. En conclusión, la tabla indica los valores de interpretación de correlación. La hipótesis general de este estudio entra en el rango de correlación muy alta, por lo tanto, se aprueba la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula. Además, el coeficiente señala que la variable independiente influye de manera positiva a la variable dependiente, es decir, el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad mejora considerablemente la productividad operativa de la empresa Lepabi Cía. Ltda.

3.3. Contexto organizacional

Generalidades

El Laboratorio Ecuatoriano para Desarrollo Bioacuático (LEPABI) compañía limitada fue fundada el 22 de junio de 1985, es una empresa especializada en criaderos de larvas y camarón. Está ubicada en la vía Punta Barandúa, de la parroquia Ballenita perteneciente a la provincia de Santa Elena.

Misión

Somos una industria acuícola en constante innovación. Nos apasiona cultivar alimentos altamente nutritivos, desde la siembra hasta la exportación, con los más altos estándares de conservación y protección ambiental, calidad, frescura e inocuidad que aportan un estilo de vida saludable a las personas del Ecuador y del mundo entero.

Visión

Liderar el crecimiento e innovación en el mercado acuícola nacional e internacional, manteniendo el compromiso de ofrecer productos de calidad mundial, brindando salud para las personas, generando oportunidades de desarrollo sostenible y economía circular y fortaleciendo la inclusión comunitaria, el cuidado y conservación del planeta.

Situación actual de la empresa

La empresa acuícola especializada en el desarrollo de larvas de camarón está compuesta por una serie de piscinas y equipos que proporcionan las condiciones adecuadas para los nauplios. Su producción es de manera continua por un periodo de 30 días, que representa el tiempo de maduración de los nauplios de camarón. Para ello, es de suma importancia mantener en buenas condiciones las áreas productivas y los equipos, debido a que a la mínima variación de los parámetros establecidos podría afectar negativamente al producto final. Estas variaciones se ven representado en el registro de producción de la Tabla 20.

Tabla 20.

Registro de producción.

Mes	Año 2025
	Producción (millones)
Enero.	110
Febrero.	90
Marzo.	100
Abril.	150
Mayo.	95

Junio.	100
Julio.	90
Agosto.	160
Septiembre.	105
Octubre.	105
Noviembre.	95
Diciembre.	100
Promedio	109

Nota. producción mensual de nauplios de camarón.

La Tabla 20 muestra el registro del año 2025 que tiene un promedio de 109 millones de producto final, con un pico mínimo de 90 millones y un máximo de 160 millones. El registro indica que en el mes de febrero y julio existieron varios problemas en los equipos que brindan soporte a la producción, causando pérdida de calidad y en producto, no obstante, en el mes de agosto se tomaron las medidas correctivas logrando obtener un pico de 160 millones. Estos datos demuestran que en condiciones adecuadas en el mantenimiento de los equipos garantizan una mejor productividad, para ello se debe analizar y profundizar en encontrar las oportunidades de mejora que permitan brindar más confiabilidad y evitar los picos bajos de producción.

3.4. Implementación de la metodología mantenimiento centrado en la confiabilidad

Recopilación de información del sistema

En el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), es necesario recopilar información específica relacionada con las funciones de los equipos, sus componentes, los tiempos de operación, las actividades de mantenimiento y el impacto de los equipos en el proceso productivo. Por ello, se diseñaron tres fichas de levantamiento de información que permitieron recopilar los datos necesarios para el desarrollo de la metodología.

Cuestionario estructurado: en esta herramienta se recopiló la información relacionada con las funciones del sistema, las fallas funcionales, el impacto y las

consecuencias de las fallas, adicional también los tiempos, frecuencias de mantenimiento, el estado y las condiciones operativas de los equipos (Anexo A).

Ficha técnica: se recopilaron datos y características de los equipos, donde se incluyen sus componentes, tiempos de operación, condiciones operativas, frecuencia de fallas y por último tipos de mantenimiento aplicados, sus costos al mantenimiento e impactos generados (Anexo F).

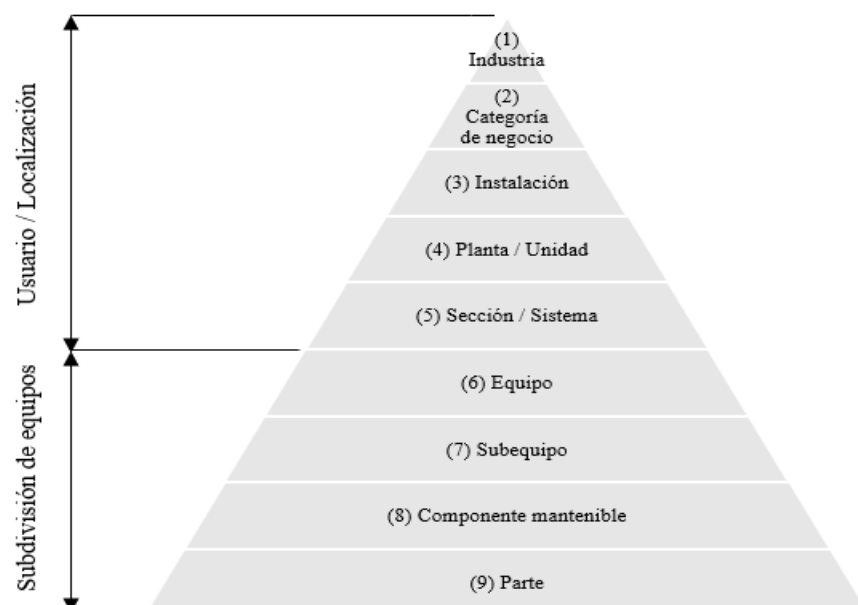
Ficha RCM: en conjunto con el cuestionario estructurado, este instrumento permitió recopilar información específica de los equipos. A través de su aplicación, se identificaron las funciones de los equipos, las fallas funcionales, los modos de falla, los efectos de falla y sus respectivas consecuencias (Anexo G).

Definición de la taxonomía del sistema

La norma ISO 14224 establece que en cualquier organización tiene una jerarquización de equipos, es necesario identificar en qué nivel de la taxonomía se encuentra el sistema. En la Figura 9 se muestra los niveles taxonómicos.

Figura 9.

Taxonomía del sistema.



Nota. La figura ilustra la jerarquización de los equipos extraída del estudio “Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efecto” elaborado por Campos-López et al. (2019b) (p. 54).

La Figura 9 muestra los niveles de taxonomía divididos en dos secciones. La primera corresponde al usuario o localización, donde se agrupan los sistemas de equipos a nivel de industria, categoría de negocio, ubicación de la instalación, planta o unidad, y sistemas. La segunda sección corresponde a la subdivisión de los equipos, la cual comprende equipos, subequipos, componentes y sus respectivas partes.

En este estudio de caso, los equipos se encuentran distribuidos en diversas áreas o secciones dentro de las instalaciones del laboratorio. Por esta razón, se concluye que la empresa Lepabi Cía. Ltda., cuenta con varios sistemas que permiten el desarrollo de sus operaciones y garantizan su funcionamiento operativo.

En la Tabla 21 se presentan detalladamente los niveles taxonómicos del sistema analizado. Conforme a los lineamientos establecidos en la norma ISO 14224, la estructura taxonómica del estudio se desarrolla a partir del sexto nivel, incorporando los niveles inferiores de la jerarquía de equipos.

Tabla 21.

Jerarquización del sistema.

Código	6 Equipo	7. Sub-equipos	8. Componentes	9. Partes
BLW-R	Blower Roton.	Estructura metálica. Filtros de aire. Válvula de liberación de presión. Válvula de retención.	Motor trifásico. Rodamientos. Eje. Pedestal. Seguros de eje. Esponjas.	Aspas. Anillo de retención. Tornillos de montaje. Liners.
BLW-L	Blower lobular.	Estructura metálica. Filtros de aire. Válvula de liberación de presión. Válvula de retención.	Motor trifásico. Rodamientos. Eje. Pedestal. Seguros de eje. Esponjas. Aceite. Engranajes.	Lóbulos. Tornillos de montaje. Liners de precisión.
BLW-E	Blower industrial.	Estructura metálica. Filtros de aire. Válvula de liberación de presión. Válvula de retención. Estructura metálica.	Motor trifásico. Rodamientos. Eje. Esponjas. Motor trifásico.	Tornillos de montaje. Liners de precisión. Anillo de retención. Lamina de fijación. Ventiladores.

BTM	Bombas trifásicas (móvil).	Estructura de PVC. Válvula de regulación de presión.	Rodamientos. Eje. Pedestal. Seguros de eje. Esponjas. Empeller. Voluta. Soporte de bomba. Carcasa.	Anillo de retención. Tornillos de montaje. Liners.
BT-PL	Bombas trifásicas (playa).	Estructura metálica. Estructura de PVC. Válvula de regulación de presión.	Motor trifásico. Rodamientos. Eje. Pedestal. Seguros de eje. Esponjas. Empeller. Voluta. Soporte de bomba. Carcasa.	Ventiladores. Anillo de retención. Tornillos de montaje. Liners.
BT-P	Bombas trifásicas (poza).	Estructura metálica. Estructura de PVC. Válvula de regulación de presión.	Motor trifásico. Rodamientos. Eje. Pedestal. Seguros de eje. Esponjas. Empeller. Voluta. Soporte de bomba. Carcasa.	Ventiladores. Anillo de retención. Tornillos de montaje. Liners.
CAL	Calderos.	Estructura metálica. Chimenea. Válvula de liberación de presión. Tanque de vacío. Termostato.	Motor quemador. Fotocélula. Programador de llama. Ventilador. Carlin Ignitor. Boquillas. Bobina. Electrodos.	Estabilizador. Servomotor. Turbina.

Nota. Detalles técnicos de los equipos, extraída de los instrumentos de recolección de datos.

Contexto operativo

El contexto operativo permite describir las características de los equipos, sus funciones operativas, los modos de falla, la frecuencia de ocurrencia de las fallas y los tiempos de inactividad. Para ello, se analizaron los registros y fichas técnicas de los equipos, a partir de los cuales se determinó y recopiló la información presentada en la Tabla 22.

Tabla 22.

Funciones y modos de fallas en los equipos.

EQUIPO	FUNCIÓN	MODO DE FALLA	FRECUENCIA	T. INACTIVIDAD	
				MIN.	H.
Blower Roton	Suministrar aire a presión para la	Aumento de temperatura y desgaste de aspas.	15	3600	60

	oxigenación y circulación del agua en las piscinas de larvas. Generar flujo continuo de aire para mantener niveles adecuados de oxígeno en tanques y piscinas. Proveer grandes volúmenes de aire para los procesos de aireación y soporte del sistema.	Desgaste del eje. Vibración excesiva. Pérdida de potencia. Recalentamiento de bobinas. Aumento de temperatura y fricción. Desgaste del eje. Vibración excesiva. Pérdida de potencia. Recalentamiento de bobinas. Aumento de temperatura y desgaste de aspas.	12	1296	36
Blower lobular					
Blower industrial		Desgaste del eje. Vibración excesiva. Pérdida de potencia. Recalentamiento de bobinas. Pérdida de presión.	12	576	24
Bombas trifásicas (móvil)	Impulsar y transferir agua entre diferentes áreas del laboratorio según las necesidades operativas.	Desgaste del eje. Vibración excesiva. Pérdida de potencia. Recalentamiento de bobinas. Deformación. Pernos barridos. Trabajar en vacío. Exceso de presión. Pérdida de presión.	18	324	18
Bombas trifásicas (playa)	Captar agua de mar y transportarla hacia el sistema de tratamiento o almacenamiento del laboratorio.	Desgaste del eje. Vibración excesiva. Pérdida de potencia. Recalentamiento de bobinas. Deformación. Pernos barridos. Trabajar en vacío. Exceso de presión. Pérdida de presión.	13	676	26
Bombas trifásicas (poza)	Bombear agua desde las pozas de almacenamiento para tratamiento de residuos.	Desgaste del eje. Vibración excesiva. Pérdida de potencia. Recalentamiento de bobinas. Deformación. Pernos barridos. Trabajar en vacío. Exceso de presión.	12	576	24
Calderos	Generar agua caliente para controlar las temperaturas de las piscinas.	Sobrecalentamiento. Sellado de salida de combustible. Falta de chispa. Pérdida de potencia de combustible.	10	400	20

Nota. Detalla las funciones, los modos de fallas, la frecuencia de fallas y tiempos de inactividad, obtenidas de la ficha de registro RCM.

La Tabla 22 detalla las funciones de los equipos junto con sus respectivos modos de falla. Los datos presentados se basan en el registro histórico de los equipos durante un período de un año, correspondiente al año 2025. Los equipos blower Roton, lobular e industrial registran frecuencias de 15 y 12 fallas, las cuales presentan modos de falla como aumento de temperatura, desgaste de aspas, vibraciones excesivas, pérdida de potencia y recalentamiento de bobinas.

Por su parte, las bombas trifásicas móviles registran un número de fallas de 12, 13 y 18 en sus respectivas áreas. Sus principales modos de falla son pérdida de presión, desgaste del eje, vibraciones elevadas, pérdida de potencia, recalentamiento de bobinas, deformación, pernos barridos, funcionamiento en vacío y exceso de presión. Por último, se encuentran los calderos, cuyos modos de falla incluyen sobrecalentamiento, sellado de la salida de combustible, falta de chispa y pérdida de potencia de combustible. Estas fallas se han mostrado en un total de 10 ocasiones.

Análisis de criticidad

El estudio de criticidad se basa en identificar y clasificar los equipos de acuerdo con el rango de riesgo que representan para la organización, teniendo en cuenta criterios como la frecuencia de ocurrencia de fallas, los tiempos de mantenimiento, los costos relacionados, el impacto en la producción y por último el impacto ambiental y de calidad del producto. Su meta es priorizar los equipos más críticos del sistema, ayudando a la toma de decisiones en la planificación y gestión del mantenimiento.

En este contexto, en la Tabla 23 se evaluaron los criterios de criticidad y se justificó la puntuación asignada a cada uno de los equipos, con el propósito de determinar su nivel de criticidad y establecer prioridades para la implementación del plan de mantenimiento.

Tabla 23.

Justificación de puntuaciones de criticidad.

EQUIPOS	PUNTAJE	JUSTIFICACIÓN
A. NIVEL DE USO DE LA MAQUINARIA		
Blower Roton.	5	Los equipos operan las 24 horas de manera continua.
Blower lobular.	5	
Blower industrial.	5	
Bombas trifásicas (móvil).	5	
Bombas trifásicas (playa).	5	
Bombas trifásicas (poza).	5	
Calderos.	5	
B. FRECUENCIA DE FALLA (Todo tipo de falla)		
Blower Roton.	2	Los equipos tienen una frecuencia de entre 10 a 18 fallas en un año.
Blower lobular.	2	

Blower industrial.	2
Bombas trifásicas (móvil).	3
Bombas trifásicas (playa).	2
Bombas trifásicas (poza).	2
Calderos.	2

C. TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (MTTR)

Blower Roton.	1	
Blower lobular.	1	
Blower industrial.	1	
Bombas trifásicas (móvil).	1	El tiempo de mantenimiento es de 1 a 2 horas.
Bombas trifásicas (playa).	1	
Bombas trifásicas (poza).	1	
Calderos.	2	Tiempo de mantenimiento de 4 horas.

D. IMPACTO SOBRE LA PRODUCCIÓN

Blower Roton.	7	
Blower lobular.	7	Una avería perjudicaría a las piscinas por falta de oxigenación causando pérdidas económicas.
Blower industrial.	5	
Bombas trifásicas (móvil).	5	Un paro no programado afectaría la calidad del producto.
Bombas trifásicas (playa).	7	Podría generar un colapso en el suministro de agua, perjudicando a la producción.
Bombas trifásicas (poza).	3	Una avería impediría el tratamiento de aguas residuales, causando contaminación en el laboratorio.
	10	Indispensable para mantener la temperatura optima de las piscinas, un paro imprevisto disminuiría la calidad del producto.
Calderos.		

E. REEMPLAZO DE EQUIPOS / ACCESORIOS

Blower Roton.	2	
Blower lobular.	2	
Blower industrial.	1	
Bombas trifásicas (móvil).	1	Los componentes de los equipos son accesibles dentro del sector.
Bombas trifásicas (playa).	1	
Bombas trifásicas (poza).	1	
Calderos.	2	

F. COSTOS DE REPARACIÓN

Blower Roton.	3	
Blower lobular.	3	
Blower industrial.	3	
Bombas trifásicas (móvil).	3	Los costos de mantenimiento no superan los mil dólares.
Bombas trifásicas (playa).	3	
Bombas trifásicas (poza).	3	
Calderos.	3	

G. IMPACTO AMBIENTAL

Blower Roton.	10	
Blower lobular.	10	Generación de residuos contaminantes-Emisiones de COV.
Blower industrial.	10	
Bombas trifásicas (móvil).	5	
Bombas trifásicas (playa).	5	Generación de residuos contaminantes.
Bombas trifásicas (poza).	5	
	10	Generación de residuos contaminantes-Emisiones de CO2.
Calderos.		

H. IMPACTO EN SALUD Y SEGURIDAD DE PERSONAL

Blower Roton.	10	
Blower lobular.	10	Riesgo eléctricos-Quemaduras- Riesgo ergonómicos.
Blower industrial.	10	
Bombas trifásicas (móvil).	5	
Bombas trifásicas (playa).	5	Riesgo eléctricos- Riesgo ergonómicos.
Bombas trifásicas (poza).	5	
Calderos.	25	Riesgo eléctricos-Quemaduras- Riesgo ergonómicos.

I. IMPACTO EN LA CALIDAD DEL PRODUCTO FINAL

Blower Roton.	5	
Blower lobular.	10	Crecimiento de nauplios.
Blower industrial.	5	
Bombas trifásicas (móvil).	10	
Bombas trifásicas (playa).	10	Ineficiencia en el proceso de recambio.
Bombas trifásicas (poza).	10	
Calderos.	25	Crecimiento de nauplios.
J. ASISTENCIA TÉCNICA		
Blower Roton.	2	
Blower lobular.	2	
Blower industrial.	1	
Bombas trifásicas (móvil).	1	Personal de mantenimiento disponible las 24 horas del día.
Bombas trifásicas (playa).	1	
Bombas trifásicas (poza).	1	
Calderos.	2	

Nota. Justificación de la asignación de valores en los aspectos de criticidad.

En la Tabla 23 se observa la calificación que se realizó en base a diez criterios, para determinar que equipos representan mayor riesgo en los procesos productivos.

El criterio A indica que los equipos operan continuamente por 24 horas al día, asignando una calificación de 5 puntos, además de indicar que una posible interrupción del funcionamiento de los equipos afectaría en la continuidad de las operaciones productivas. El criterio B, denominado frecuencia de fallas, evidenció que los equipos registraron entre 10 y 15 fallas durante el año 2025, por lo que se les asignó una puntuación de 2 puntos. No obstante, un equipo obtuvo una puntuación de 3 puntos, debido a que presentó una frecuencia de 18 fallas.

El criterio C, correspondiente al tiempo de mantenimiento, evidenció que la mayoría de los equipos registró tiempos de intervención de entre una y dos horas; de acuerdo con los criterios de evaluación, se les asignó una puntuación de 1 punto. No obstante, el caldero requirió cuatro horas de mantenimiento, por lo que obtuvo una puntuación de 2 puntos.

En cuanto al criterio D, relacionado con el impacto en la calidad del producto, los equipos bomba trifásica de poza, bomba móvil y blower industrial obtuvieron 3, 5 y 5 puntos, respectivamente, debido a que su falla genera un impacto leve en la producción y la calidad del producto. Por su parte, los equipos blower Roots, blower

lobular y bomba trifásica (playa) recibieron una puntuación de 7 puntos, ya que su indisponibilidad ocasiona un impacto considerable en el proceso productivo, pudiendo afectar la calidad del producto y generar pérdidas económicas. Finalmente, el caldero obtuvo la puntuación máxima, debido a que su funcionamiento es indispensable para el proceso, por lo que una falla comprometería considerablemente la calidad del producto y la continuidad de la producción.

Los criterios restantes evidenciaron que los equipos cuentan con componentes de fácil disponibilidad, costos de reparación accesibles, un alto impacto ambiental, un elevado riesgo para la salud y la seguridad del personal, un alto impacto en la calidad final del producto y una adecuada capacidad de respuesta por parte del personal operativo.

Una vez obtenidas las puntuaciones correspondientes a cada criterio de evaluación, se procede al cálculo de la criticidad de los equipos. En primer lugar, se calcula la consecuencia, utilizando la siguiente fórmula:

Ecuación 6.

Consecuencia.

$$\text{Consecuencia} = (A * C * D) + E + F + G + H + I + J$$

$$\text{Consecuencia} = (5 * 1 * 7) + 2 + 3 + 10 + 10 + 5 + 2$$

$$\text{Consecuencia} = 67$$

Donde la ecuación de criticidad es:

Ecuación 7.

Criticidad.

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia de falla} * \text{Consecuencia}$$

$$\text{Criticidad} = 2 * 67$$

$$\text{Criticidad} = 134$$

Las ecuaciones 6 y 7 muestran el procedimiento para el cálculo de la criticidad del equipo blower Roots. En este caso, la frecuencia de falla corresponde al criterio B, cuya puntuación es 2. Los resultados del cálculo de criticidad para los demás equipos se presentan en la Tabla 24.

Tabla 24.

Matriz de criticidad.

Equipos	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Criticidad
Blower Roton.	5	2	1	7	2	3	10	10	5	2	134
Blower lobular.	5	2	1	7	2	3	10	10	10	2	144
Blower industrial.	5	2	1	5	1	3	10	10	5	1	110
Bombas trifásicas (móvil).	5	3	1	5	1	3	5	5	10	1	150
Bombas trifásicas (playa).	5	2	1	7	1	3	5	5	10	1	120
Bombas trifásicas (poza).	5	2	1	3	1	3	5	5	10	1	80
Calderos.	5	2	2	10	2	3	10	25	25	2	334

Nota. Resultados de criticidad de los equipos.

En la Tabla 24 se visualizan los niveles de criticidad obtenidos para cada uno de los equipos estudiados. Se puede observar que entre los equipos destaca el caldero, con 334 puntos, seguido por equipos con valores de entre 120 y 150. Por otro lado, la bomba trifásica del área de poza registró la menor puntuación con 80 puntos. Los resultados obtenidos permiten conocer los equipos que representan un elevado nivel de riesgo e impacto sobre los procesos productivos. En este sentido, se aplicó el diagrama de Pareto, cuyos resultados se presentan en la Tabla 25 y la Figura 10. Esta herramienta, basada en el principio 80/20, facilita la identificación de los equipos más críticos del sistema y permite establecer prioridades para la planificación de las actividades de mantenimiento.

Tabla 25.

Niveles de criticidad.

Equipos	Criticidad	%	% Acumulado.
Calderos.	334	31%	31%
Bombas trifásicas (móvil).	150	14%	45%
Blower lobular.	144	13%	59%
Blower Roton.	134	13%	71%

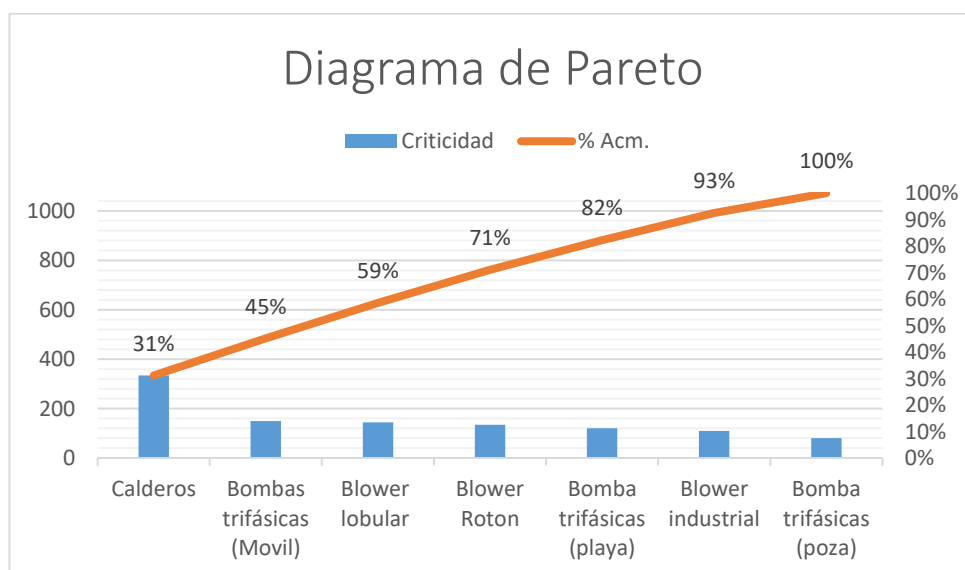
Bombas trifásicas (playa).	120	11%	82%
Blower industrial.	110	10%	93%
Bombas trifásicas (poza).	80	7%	100%
Total	1072	100%	

Nota. Nivel de criticidad de los equipos ordenados de mayor a menor.

La Tabla 31, indica los equipos con mayor índice de criticidad dentro del sistema de este estudio. Equipos como caldero, bomba trifásica (móvil) y blower lobular encabezan los tres primeros lugares de la lista representando niveles críticos de 31 %, 14 % y 13 % respectivamente. Mientras que equipos como bomba trifásica (poza) y blower industrial se sitúan a lo último de la tabla con solo 7 % y 10 % de criticidad. No obstante, para interpretar la distribución de la criticidad de los equipos según el principio 80/20, es necesario analizar la Figura 10, donde se presenta el diagrama de Pareto.

Figura 10.

Diagrama de Pareto.



Nota. Diagrama de causa y efecto de los equipos en base a sus niveles de criticidad

La Figura 10 presenta el diagrama de Pareto basado en la relación 20/80, la cual establece que aproximadamente el 80 % de los efectos de un problema son generados por el 20 % de sus causas. Bajo este principio, se identificó que los equipos caldero, bomba trifásica (móvil), blower lobular, blower Roton y bomba trifásica

(planta) constituyen los equipos más críticos del sistema, ya que concentran el 82 % de la incidencia acumulada. Por tal motivo, estos equipos serán objeto de análisis mediante la metodología de Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMFE). En contraste, los equipos blower industrial y bombas trifásicas (pozo) no serán considerados en esta etapa del estudio, debido a que su nivel de incidencia es reducido y su impacto sobre el sistema productivo es menor.

Análisis de Modos de Fallas y Efectos (AMFE)

El Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMFE) es una metodología que permite identificar, evaluar y analizar los posibles modos de falla de un equipo o sistema, con el fin de priorizar acciones de mantenimiento, reducir riesgos y garantizar la confiabilidad, disponibilidad y desempeño de los activos.

A continuación, las Tablas 26, 27, 27, 29 y 30 muestra los Análisis de Modos de Fallas y Efecto, detallando las funcionalidades de los componentes, falla funcional, modos de fallas, efectos de fallas, causas potenciales, la puntuación en los índices de Severidad (S), Ocurrencia (O) y detectabilidad (D), el nivel de prioridad de riesgo (NPR), acciones recomendadas y los responsables del área. Además, para facilitar la identificación de los equipos con mayor nivel de riesgo, se utilizó una paleta de colores en la matriz AMFE, donde el color rojo representa un riesgo alto, el amarillo un riesgo moderado y el verde un riesgo bajo.

Para el cálculo del Número de Prioridad de Riesgo (NPR), se aplicó la siguiente fórmula:

$$NPR = S * O * D$$

Tabla 26.

Análisis de Modo de Fallas y Efecto - Caldero.

ANÁLISIS MODAL DE FALLAS Y EFECTOS (AMFE)												
Tipo de AMFE:			Equipo:		Caldero		Área:		Producción		Fecha:	
Proceso			Código:		CAL		Revisión:		1		Preparado por:	
											Chica Solano Javier	
Código	Componente	Función	Falla funcional	Modo de Falla	Efecto potencial del fallo	Causa potencial del fallo	S	O	D	NPR	Responsable	
Acciones recomendadas												
CAL-PRO	Programador de llama.	Programa la energización para encendido inicial.	No enciende.	Quemado.	El uso constante de temperatura sobrecarga el programador provocando su quemado y la detención del sistema.	Sobretensión eléctrica, sobrecalentamiento, desgaste de componentes electrónicos, humedad en circuitos.	5	4	5	100	Verificar voltaje de alimentación, inspeccionar conexiones eléctricas y reemplazar el programador cuando presente deterioro.	Técnico de mantenimiento.
CAL-BOQ	Boquillas.	Proporciona combustible al sistema en base a la temperatura.	Obstrucción.	Sellado de salida de combustible.	Las partículas bloquean la salida de combustible impidiendo una combustión adecuada.	Acumulación de partículas, impurezas en el combustible, falta de limpieza periódica.	9	6	6	324	Limpieza periódica de boquillas, instalación de filtros y control de calidad del combustible.	Técnico de mantenimiento.
CAL-CAR	Carlin Ignitor.	Generador de chispa que enciende el sistema.	No enciende.	Falta de chispa.	Al no existir chispa no se inicia la combustión y se producen paros no programados.	Desgaste de electrodos, conexiones eléctricas defectuosas, suciedad en el Ignitor.	7	6	8	336	Inspeccionar electrodos, verificar continuidad eléctrica y reemplazar componentes desgastados.	Técnico electricista.
CAL-VEN	Ventolera.	Generar y dirigir el flujo de aire necesario para el proceso de combustión.	Desgaste de ejes.	Pérdida de potencia de combustible.	Disminuye el flujo de aire requerido para la combustión, afectando la eficiencia del sistema y generando paros no programados.	Falta de lubricación, desalineación, desgaste de rodamientos, vibraciones excesivas.	8	5	3	120	Lubricar periódicamente, verificar alineación y reemplazar rodamientos desgastados.	Técnico mecánico.

Nota. La evaluación de modo de fallas y efectos del caldero, datos obtenidos mediante herramientas de diagnóstico.

En la Tabla 26 se observan los aspectos necesarios para estudiar los modos de falla y sus efectos en los calderos. Los resultados obtenidos mediante la matriz AMFE detallan que el componente boquilla presenta un nivel alto de riesgo, contando con una puntuación de 324, esto se debe a que su modo de falla puede repercutir gravemente el funcionamiento del equipo y reducir la calidad del producto final.

Asimismo, el componente Carlin Ignitor registra una puntuación de 336, siendo considerado también de alto riesgo. Su modo de falla puede ocasionar paradas no programadas en la producción, afectando directamente el producto final. Además, presenta un elevado nivel de no detectabilidad, lo que incrementa su criticidad dentro del sistema.

Tabla 27.

Análisis de Modo de Fallas y Efecto - bomba trifásica (móvil).

ANÁLISIS MODAL DE FALLAS Y EFECTOS (AMFE)												
Tipo de AMFE: Proceso			Equipo: Código:	Bombas trifásicas (Móvil) BTM		Área: Revisión:	1	Producción Preparado por:			Fecha: Chica Solano Javier	10/6/2026
Código	Componente	Función	Falla funcional	Modo de Falla	Efecto potencial del fallo	Causa potencial del fallo	S	O	D	NPR	Acciones recomendadas	Responsable
BTM-IMP	Impeller.	Mueve fluidos mediante fuerza centrífuga.	Rotura de álabes.	Pérdida de presión.	El uso constante provoca vibraciones y pérdida de potencia en la transferencia de agua.	Cavitación, erosión por partículas sólidas, corrosión, operación fuera del punto de diseño.	8	7	7	392	Inspeccionar álabes periódicamente, controlar cavitación y calidad del fluido.	Técnico mecánico.
BTM-EJE	Eje central.	Transmite energía mecánica desde el motor hasta el impulsor.	Vibraciones,	Desgaste del eje.	Ocurre cuando por el uso continuo provocando fugas entre el eje tapas del pedestal.	Desalineación, sobrecarga, falta de lubricación, vibraciones excesivas.	8	5	3	120	Verificar alineación, monitorear vibraciones y realizar inspecciones dimensionales.	Técnico mecánico.
BTM-ROD	Rodamientos de bola.	Reduce la fricción y facilita el movimiento.	Aumento de temperatura	Vibración excesiva.	Ocurre cuando el rodamiento se queda sin grasa en su interior.	Falta de lubricación, contaminación por	9	6	6	324	Implementar plan de lubricación y monitoreo de temperatura.	Técnico mecánico.

						humedad, desgaste natural.						
BTM-CAU	Caucho matrimonio.	Conecta el eje del motor con el eje del impeller, transmitiendo potencia. Acciona la turbina para generar flujo de agua.	Desgaste de matrimonios.	Pérdida de potencia. Recalentamiento de bobinas.	Ocurre por las fisuras creadas por el uso y el calentamiento. Ocurre por la falta de barnizado en las bobinas y uso prolongado del equipo.	Fatiga del material, desalineación entre ejes, altas temperaturas. Sobrecarga eléctrica, ventilación deficiente, deterioro del aislamiento.	8	8	7	448	Revisar alineación, inspeccionar grietas y reemplazar según vida útil.	Técnico mecánico.
BTM-MOT	Motor.	Convierte la energía cinética del fluido en energía estática.	Paros inesperados		El uso prologado provoca daños en pernos que sostienen la voluta.	Corrosión, erosión, golpes hidráulicos, exceso de presión.	9	6	7	378	Monitorear corriente, temperatura y resistencia de aislamiento.	Técnico electricista.
BTM-VOL	Voluta.		Pérdida de presión .	Deformación.	El uso prologado y la presión que se maneja, se desajustan pernos y las vibraciones barren la rosca		7	3	5	105	Inspeccionar espesores, controlar presión de operación.	Técnico mecánico.
BTM-BRA	Bracket.	Sirve para fijar de manera segura la bomba.	Deterioro.	Pernos barridos.	El calentamiento de la bomba tras trabajar en vacío provoca un aumento de temperatura en sus partes internas provocando deformaciones.	Vibraciones continuas, torque incorrecto, corrosión de fijaciones.	5	6	6	180	Verificar apriete de pernos y estado de las roscas.	Técnico mecánico.
BTM-FLA	Flape.	Retiene el agua dentro de la carcasa para mejorar el funcionamiento eficiente.	Deformación.	Trabajar en vacío.	Durante el uso del equipo se cierran válvulas provocando un exceso de presión, dando como resultado	Operación en vacío, cierre incorrecto de válvulas, cavitación.	8	3	4	96	Instalar protección contra trabajo en seco y capacitar operadores.	Operador / Mantenimiento.
BTM-CAR	Carcasa Pacer.	Convierte la velocidad en presión.	Deterioro.	Exceso de presión.	fisuras en la carcasa y pérdida de presión de fluidos.	Sobrepresión, golpes de ariete, corrosión, fatiga mecánica.	9	3	5	135	Inspecciones visuales, pruebas de presión y control de válvulas.	Técnico mecánico.

Nota. Análisis de Modos de Fallas y Efectos del equipo bomba trifásico móvil.

En la Tabla 27 se puede observar el análisis AMFE el cual corresponde a la bomba trifásica móvil. Se obtuvieron resultados del número de prioridad de riesgo (NPR) el cual indica que el componente impeller presenta un alto nivel de riesgo contando con una puntuación de 392, esto se debe a que su modo de falla puede ocasionar pérdidas de presión de agua dentro del sistema, afectando el desempeño operativo del equipo.

De igual manera, los rodamientos de bola, caucho o matrimonio y motor registran valores de 324, 448 y 378 de NPR por lo que son considerados elementos de alta criticidad. Sus modos de falla pueden comprometer la transmisión de potencia, la estabilidad mecánica y el funcionamiento general de la bomba, incrementando el riesgo de interrupciones en la operación.

Tabla 28.

Análisis de Modo de Fallas y Efecto - blower lobular.

ANÁLISIS MODAL DE FALLAS Y EFECTOS (AMFE)												
Tipo de AMFE:			Equipo:		Blower lobular		Área: Producción			Fecha: 10/6/2026		
Proceso			Código:		BLW-L		Revisión: 1			Preparado por: Chica Solano Javier		
Código	Componente	Función	Falla funcional	Modo de Falla	Efecto potencial del fallo	Causa potencial del fallo	S	O	D	NPR	Acciones recomendadas	Responsable
BLW-L-LOB	Lóbulos.	Genera flujo de aire en altas revoluciones.	Desgaste de aspa	Aumento de temperatura y fricción	Ocurre cuando en periodos de uso constante adquiere corrosión por factores ambientales.	Corrosión por ambiente salino, desgaste abrasivo por partículas, falta de lubricación indirecta, desalineación de rotores.	6	5	7	210	Inspeccionar desgaste y corrosión de los lóbulos, verificar holguras y condiciones de operación.	Técnico mecánico.
BLW-L-EJE	Eje central.	Transmite energía mecánica desde el	Vibraciones	Desgaste del eje	Ocurre cuando por el uso continuo provocando fugas entre el eje tapas del pedestal.	Desalineación, sobrecarga mecánica, vibraciones excesivas, desgaste por fatiga.	7	5	4	140	Realizar alineación periódica, análisis de vibraciones e inspección dimensional del eje.	Técnico mecánico.

		motor hasta el impulsor.										
BLW-L-ROD	Rodamientos de bola.	Reduce la fricción y facilita el movimiento. Conecta el eje del aspa con el eje del motor, transmitiendo potencia.	Aumento de temperatura.	Vibración excesiva.	Ocurre cuando el rodamiento se queda sin grasa en su interior.	Falta de lubricación, contaminación por polvo o humedad, desgaste natural, sobrecalentamiento.	8	7	8	448	Implementar plan de lubricación, monitorear temperatura y vibraciones.	Técnico mecánico.
BLW-L-CAU	Caucho matrimonio.		Desgaste de matrimonios	Pérdida de potencia.	Ocurre por las fisuras creadas por el uso y el calentamiento de este.	Fatiga del material, desalineación de ejes, vibraciones excesivas, envejecimiento térmico	9	7	7	441	Verificar alineación, inspeccionar grietas y reemplazar según condición.	Técnico mecánico.
BLW-L-MOT	Motor.	Acciona la turbina para generar flujo de aire.	Paros inesperados.	Recalentamiento de bobinas.	Ocurre por la falta de barnizado en las bobinas.	Sobrecarga eléctrica, ventilación deficiente, deterioro del aislamiento, fluctuaciones de voltaje.	9	4	7	252	Monitorear corriente y temperatura, realizar pruebas de aislamiento y limpieza del motor.	Técnico electricista.

Nota. Estudio de modos de falla y efectos del equipo blower lobular.

Se observa que en la Tabla 28 se realizó el Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) del blower lobular. En el se identificó que tres componentes presentan un número de prioridad de riesgo elevado (NPR). Se observa que el rodamiento de bolas obtuvo un NPR de 448, por otro lado, el caucho de acoplamiento registró una puntuación de 441 y por último el motor alcanzó una puntuación de 252. Lo cual indica que estos componentes tienen un mayor nivel de riesgo de falla y podrían poner en riesgo el funcionamiento del equipo, por lo tanto es necesario implementar acciones preventivas y predictivas que ayuden a reducir la probabilidad de ocurrencia de fallas y mejorar su confiabilidad.

Tabla 29.

Análisis de Modo de Fallas y Efecto - blower Roton.

ANÁLISIS MODAL DE FALLAS Y EFECTOS (AMFE)											
Tipo de AMFE:			Equipo:			Área:			Fecha:		
Proceso			Código:			Revisión:			Preparado por:		
Código	Componente	Función	Falla funcional	Modo de Falla	BLW-R Efecto potencial del fallo	Causa potencial del fallo	S	O	D	NPR	Acciones recomendadas
BLW-R-ASP	Aspa.	Genera flujo de aire en altas revoluciones	Desgaste de aspas.	Aumento de temperatura y desgaste de aspas.	Ocurre cuando se desajusta el perno del eje central lo que produce desgaste en sus partes.	Desalineación del eje, corrosión por ambiente salino, acumulación de partículas, desbalanceo del rotor.	8	5	7	280	Inspeccionar desgaste y corrosión de las aspas, verificar balanceo dinámico y limpiar periódicamente.
BLW-R-EJE	Eje central.	Transmite energía mecánica desde el motor hasta el impulsor.	Vibraciones .	Desgaste del eje.	Ocurre cuando por el uso continuo provocando fugas entre el eje tapas del pedestal.	Desalineación, sobrecarga mecánica, desgaste por fatiga, vibraciones excesivas.	7	5	4	140	Realizar alineación periódica, monitoreo de vibraciones e inspección del eje.
BLW-R-ROD	Rodamientos de bola.	Reduce la fricción y facilita el movimiento.	Aumento de temperatura.	Vibración excesiva.	Ocurre cuando el rodamiento se queda sin grasa en su interior.	Falta de lubricación, contaminación por humedad o polvo, desgaste normal, exceso de carga.	8	7	8	448	Implementar programa de lubricación y monitoreo de temperatura y vibraciones.
BLW-R-CAU	Caucho matrimonio.	Conecta el eje del aspa con el eje del motor, transmitiendo potencia.	Desgaste de matrimonios.	Pérdida de potencia.	Ocurre por las fisuras creadas por el uso y el calentamiento.	Fatiga del material, envejecimiento térmico, desalineación de ejes, vibraciones excesivas.	9	7	7	441	Revisar estado del acople, verificar alineación y reemplazar cuando presente grietas o deformaciones.
BLW-R-MOT	Motor.	Acciona la turbina para generar flujo de aire.	Paros inesperados.	Recalentamiento de bobinas.	Ocurre por la falta de barnizado en las bobinas.	Sobrecarga eléctrica, ventilación deficiente, deterioro del aislamiento, fluctuaciones de voltaje.	9	6	7	378	Realizar pruebas de aislamiento, monitorear corriente y temperatura, limpiar sistema de ventilación.

Nota. Análisis de Modos de Fallas y Efectos del equipo blower Roton.

La Tabla 29 presenta los principales componentes del equipo blower Roots junto con su correspondiente Número de Prioridad de Riesgo (NPR). Por medio del análisis AMFE se logró identificar que el caucho de acoplamiento, el rodamiento de bolas y el motor registra puntuaciones de 448, 441 y 378 en valores de NRP. Este resultado nos ayuda a visualizar elevados índices de severidad, ocurrencia y detectabilidad, lo cual señala que sus modos de falla pueden comprometer en gran parte al funcionamiento del equipo, afectando su continuidad dentro del proceso productivo y generando costos adicionales por mantenimiento correctivo. En conclusión, es necesario establecer acciones de mantenimiento preventivo y predictivo que reduzcan el riesgo de falla y mejoren la confiabilidad del equipo.

Tabla 30.

Análisis de Modos de Fallas y Efectos - bomba trifásica (playa).

ANÁLISIS MODAL DE FALLAS Y EFECTOS (AMFE)											
Tipo de AMFE:			Equipo:			Área:			Fecha:		
Proceso			Código:			Revisión:			Preparado por:		
			Falla funcional			Modo de Falla			Efecto potencial del fallo		
Código	Componente	Función	Falla funcional	Modo de Falla	Efecto potencial del fallo	Causa potencial del fallo	S	O	D	NPR	Acciones recomendadas
BT-PL-IMP	Impeller.	Mueve fluidos mediante fuerza centrífuga. Transmite energía mecánica desde el motor hasta el impulsor.	Rotura de álabes.	Pérdida de presión.	Disminución del caudal y pérdida de eficiencia hidráulica.	Cavitación, erosión, impacto de sólidos suspendidos, fatiga del material.	8	7	7	392	Inspección periódica del impulsor, control de cavitación y calidad del agua.
BT-PL-EJE	Eje central.		Vibraciones.	Desgaste del eje.	Vibraciones, desalineación y fugas mecánicas.	Desalineación, cargas excesivas, lubricación deficiente.	8	5	3	120	Verificación de alineación y monitoreo de vibraciones.

BT-PL-ROD	Rodamientos de bola.	Reduce la fricción y facilita el movimiento. Conecta el eje del motor con el eje del impeller, transmitiendo potencia. Acciona la turbina para generar flujo de agua. Convierte la energía cinética del fluido en energía estática. Sirve para fijar de manera segura la bomba. Retiene el agua dentro de la carcasa para mejorar el funcionamiento eficiente.	Aumento de temperatura.	Vibración excesiva.	Incremento de temperatura y posible paro del equipo.	Falta de lubricación, contaminación, desgaste natural.	9	6	6	324	Programa de lubricación y análisis de vibraciones.	Técnico mecánico.
BT-PL-CAU	Caucho matrimonio.		Desgaste de matrimonios.	Pérdida de potencia. Recalentamiento de bobinas.	Desacople entre motor y bomba, disminución del rendimiento. Parada inesperada y pérdida total de bombeo.	Fatiga mecánica, envejecimiento, desalineación de ejes.	8	8	7	448	Revisión periódica del acople y alineación láser.	Técnico mecánico.
BT-PL-MOT	Motor.		Paros inesperados.			Sobrecarga, falta de ventilación, fluctuaciones eléctricas.	9	6	7	378	Termografía, monitoreo de corriente y protección térmica.	Técnico electricista.
BT-PL-VOL	Voluta.		Pérdida de presión.	Deformación.	Pérdida de presión y reducción de eficiencia hidráulica. Desalineación del conjunto y vibraciones excesivas.	Corrosión, cavitación, sobrepresión, desgaste por abrasión.	8	4	5	160	Inspección visual y medición de espesores.	Técnico mecánico.
BT-PL-BRA	Bracket.		Deterioro.	Pernos barridos.		Aflojamiento por vibraciones, torque incorrecto.	7	5	5	175	Verificación periódica del torque de pernos.	Técnico mecánico.
BT-PL-FLA	Flape.		Deformación.	Trabajar en vacío.	Sobrecalentamiento y daños internos de la bomba	Obstrucción de línea, válvulas cerradas, falta de agua.	9	4	4	144	Instalar protección contra trabajo en seco	Operador / Mantenimiento.
BT-PL-CAR	Carcasa Pacer.	Convierte la velocidad en presión.	Deterioro.	Exceso de presión.	Fisuras, fugas y posible rotura de la carcasa.	Cierre brusco de válvulas, golpe de ariete, obstrucciones.	10	3	5	150	Instalar válvulas de alivio y monitoreo de presión.	Técnico mecánico.

Nota. Análisis de Modos de Fallas y Efectos del equipo bomba trifásica (playa).

La Tabla 30 presenta los Números de Prioridad de Riesgo (NPR) de los principales componentes de la bomba trifásica del área de playa. Gracias al análisis AMFE, se logró determinar que componentes como el impeller, el rodamiento de bolas, el caucho de acoplamiento y el motor registran valores de 392, 324, 448 y 378. Estos elementos se presentan los mayores niveles de riesgo de falla del equipo, ya que sus modos de falla pueden afectar en gran medida a su funcionamiento comprometiendo la continuidad del proceso productivo y generando un elevado costo de mantenimiento.

En conclusión, es necesario implementar acciones de mantenimiento preventivo y predictivo que permitan reducir el riesgo de falla y garantizar una mejor confiabilidad de los equipos. En la Tabla 31 se resume cada uno de los componentes con niveles de prioridad de riesgo más alto, en conjunto con una proyección de NPR óptima para el sistema.

La siguiente tabla presenta los componentes con los mayores Niveles de Prioridad de Riesgo (NPR), comparando el NPR actual con el NPR proyectado después de la implementación de las acciones de mantenimiento.

Tabla 31.

NPR actual y propuesto.

Equipo	Componentes	Actual				Propuesto			
		S	O	D	NPR	S	O	D	NPR
Caldero.	Boquillas.	9	6	6	324	4	2	4	32
	Carlin Ignitor.	7	6	8	336	5	3	4	60
	Impeller.	8	7	7	392	3	4	2	24
Bombas trifásicas (móvil).	Rodamientos de bola.	9	6	6	324	4	5	3	60
	Caucho matrimonio.	8	8	7	448	3	6	3	54
	Motor.	9	6	7	378	5	3	2	30
	Rodamientos de bola.	8	7	8	448	3	4	5	60
Blower lobular.	Caucho matrimonio.	9	7	7	441	5	3	2	30
	Motor.	9	4	7	252	4	5	3	60
	Rodamientos de bola.	8	7	8	448	3	4	5	60
Blower Roton.	Caucho matrimonio.	9	7	7	441	5	3	2	30
	Motor.	9	6	7	378	4	5	3	60

Bombas trifásicas (playa)	Impeller.	8	7	7	392	3	4	2	24
	Rodamientos de bola.	9	6	6	324	4	5	3	60
	Caucho matrimonio.	8	8	7	448	3	6	3	54
	Motor.	9	6	7	378	5	3	2	30

Nota. Niveles de prioridad de riesgos esperados por los equipos de alto riesgo.

La Tabla 31 resume los niveles de prioridad de riesgo (NPR) de los componentes de los equipos y propone un NPR objetivo para optimizar el funcionamiento del sistema. Su cumplimiento depende de la implementación de las acciones de mantenimiento recomendadas y de un control más riguroso de las actividades de mantenimiento.

Análisis RAM

El análisis RAM tiene como objetivo evaluar el desempeño de un sistema o equipo mediante los indicadores de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, con el fin de determinar su estado operativo y apoyar la toma de decisiones en la gestión del mantenimiento.

Tiempo medio de reparación (MTTR)

El indicador MTTR mide el tiempo promedio requerido para reparar un equipo y restablecer sus condiciones óptimas de funcionamiento. El cálculo del MTTR se presenta a continuación:

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de mantenimiento}}{\text{Número total de reparaciones}}$$

$$MTTR = \frac{195}{15}$$

$$MTTR = 13 \text{ horas}$$

Tabla 32.

Tiempo medio de reparación (MTTR).

TIEMPO MEDIO ENTRE REPARACIÓN				
Código	Equipo	Nº de reparaciones	Tiempo total de reparación	MTTR
BLW-R1	Blower Roton	15	195	13,00
BLW-L1	Blower lobular.	12	181	15,08

BLW-E1	Blower industrial.	12	182	15,17
BT-M1	Bombas trifásicas (móvil).	18	200	11,11
BT-PL1	Bombas trifásicas (playa).	13	190	14,62
BT-P1	Bombas trifásicas (poza).	12	180	15,00
CAL-C1	Calderos.	10	160	16,00
MTTR promedio				14,28

Nota. Tiempo promedio de reparación de los equipos del sistema productivo.

En la Tabla 32 se presenta el cálculo del MTTR indicando un tiempo promedio de reparación de 14,28 horas. Este resultado fue obtenido a partir del tiempo de inactividad total registrado y del número de reparaciones realizadas durante el año 2025. El valor obtenido refleja que los equipos requieren 14,28 horas para poder ser reparados y que estos vuelvan a sus condiciones normales de funcionamiento.

Tiempo medio entre fallas (MTBF)

El MTBF (Mean Time Between Failures) es un indicador de confiabilidad que mide el tiempo promedio de funcionamiento de un equipo entre una falla y la siguiente. Este indicador se calcula relacionando el tiempo total de operación con el número total de fallas registradas. El cálculo del MTBF se presenta a continuación:

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de operación}}{\text{Numero total de fallos}}$$

$$MTBF = \frac{8760}{15}$$

$$MTBF = 584 \text{ horas}$$

Tabla 33.

Tiempo promedio entre fallas (MTBF).

TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS					
Código	Equipo	N° de reparaciones	Tiempo total de operación	MTBF	Fallas por día
BLW-R1	Blower Roton.	15	8760	584	24,33
BLW-L1	Blower lobular.	12	8760	730	30,42
BLW-E1	Blower industrial.	12	8760	730	30,42
BT-M1	Bombas trifásicas (móvil)	18	8760	486,7	20,28
BT-PL1	Bombas trifásicas (playa)	13	8760	673,8	28,08
BT-P1	Bombas trifásicas (poza)	12	8760	730	30,42
CAL-C1	Calderos	10	8760	876	36,50
MTBF promedio.				687,22	

Nota. El tiempo promedio entre fallas de los equipos.

En la anterior tabla se presenta el tiempo medio entre fallas (MTBF). Obteniendo un promedio de 687,22 horas que indican que en condiciones normales de operación los equipos funcionan aproximadamente 30 días antes de que estos experimenten algún tipo de falla, lo cual refleja su nivel de confiabilidad.

Disponibilidad de los equipos

La disponibilidad de un equipo está dada por el tiempo medio entre fallas y el tiempo medio de reparación. Este indicador permite determinar el porcentaje de tiempo en que un equipo permanece operativo con respecto al tiempo que se encuentra fuera de servicio por mantenimiento o fallas. El cálculo de la disponibilidad se presenta a continuación:

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100$$

$$Disponibilidad = \frac{584}{584 + 13} * 100$$

$$Disponibilidad = 97.82\%$$

Tabla 34.

Disponibilidad de los equipos.

DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS				
Código	Equipo	MTBF	MTTR	Disponibilidad
BLW-R1	Blower Roton.	584	13,00	97,82%
BLW-L1	Blower lobular.	730	15,08	97,98%
BLW-E1	Blower industrial.	730	15,17	97,96%
BT-M1	Bombas trifásicas (móvil).	486,67	11,11	97,77%
BT-PL1	Bombas trifásicas (playa).	673,85	14,62	97,88%
BT-P1	Bombas trifásicas (poza).	730	15,00	97,99%
CAL-C1	Calderos.	876	16,00	98,21%
MTBF promedio.				97,94%

Nota. Disponibilidad de los equipos en relación MTBF y MTTR.

La Tabla 34 presenta una disponibilidad promedio del 97,94 %, valor que refleja un desempeño operativo favorable. Sin embargo, aún existe un margen de indisponibilidad del 2,06 %, el cual podría afectar la continuidad del proceso

productivo. Por ello, es recomendable implementar estrategias de mantenimiento que permitan minimizar este riesgo y aumentar la disponibilidad de los equipos.

Confiabilidad

La confiabilidad determina la probabilidad de que un equipo opere correctamente durante un período de tiempo determinado y bajo condiciones establecidas. En este estudio se consideró un período operativo de un mes, correspondiente al tiempo de funcionamiento continuo de los equipos. Este indicador es fundamental para el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), ya que permite evaluar el desempeño de los equipos. El cálculo de la confiabilidad se presenta a continuación.

$$\text{Confiabilidad} = e^{-\frac{t}{MTBF}}$$

$$\text{Confiabilidad} = e^{-\frac{720}{584}}$$

$$\text{Confiabilidad} = 44.2\%$$

Tabla 35.

Confiabilidad de los equipos.

Código	Equipo	Confiabilidad		
		MTBF	Horas esperadas de operación	Confiabilidad operativa por mes
BLW-R1	Blower Roton.	584	720	28,9%
BLW-L1	Blower lobular.	730	720	37,0%
BLW-E1	Blower industrial.	730	720	37,0%
BT-M1	Bombas trifásicas (móvil).	486,67	720	22,5%
BT-PL1	Bombas trifásicas (playa).	673,85	720	34,1%
BT-P1	Bombas trifásicas (poza).	730	720	37,0%
CAL-C1	Calderos.	876	720	43,7%
Confiabilidad promedio.				34,3%

Nota. Nivel de confiabilidad de los equipos

La Tabla 35 presenta una confiabilidad promedio del 34,3 %, valor que evidencia un bajo nivel de confiabilidad de los equipos durante el período de evaluación de un mes. Este resultado indica que existe una probabilidad del 61,3 % de

que los equipos presenten una falla en dicho período, lo que podría afectar la continuidad del proceso productivo y el desempeño del sistema.

En resumen, el análisis RAM, mediante sus indicadores, obtuvo los siguientes resultados: un tiempo medio de reparación (MTTR) de 14,28 horas, un tiempo medio entre fallas (MTBF) de 687,22 horas (aproximadamente 30 días), una disponibilidad del 97,94 % y una confiabilidad del 38,7 %. Estos resultados evidencian la necesidad de fortalecer la gestión del mantenimiento, con el propósito de reducir los tiempos de reparación, incrementar la confiabilidad de los equipos y mantener altos niveles de disponibilidad del sistema.

Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad

Esta sección desarrolló la planificación del mantenimiento centrado en la confiabilidad, elaborada a base de los análisis de criticidad de los equipos y el Análisis de Modos de Fallas y Efectos (AMFE), estas herramientas lograron identificar los equipos y componentes que más impacto causan dentro del sistema. Una vez identificados es importante tomar decisiones y tomar acciones inmediatas, la normativa SAE JA 1011 planteó un árbol de decisiones con una serie de preguntas que encaminan a la búsqueda de soluciones efectivas.

A continuación, en la Tabla 36 se responden cada una de las preguntas del árbol de decisiones, con la finalidad de proponer actividades o tareas, intervalos de mantenimiento y responsables del área.

Tabla 36.
Hoja de decisión.

HOJA DE DECISIÓN															
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción "A falta de"			Tarea propuesta	Intervalo inicial	Responsable
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	H6			
N1	N2	N3													
Equipo: Caldero															
1	A		1	S	N	N	S	N	S				Limpieza de boquillas e inspección de filtros	Mensual	Personal de mantenimiento
1	A		2	S	N	N	S	N	S				Inspección del Carlin		Personal de mantenimiento
1	A												Ignitor y prueba eléctrica	Trimestral	
Equipo: Bomba trifásica (móvil)															
1	A		1	S	N	N	S	S					Inspección del impeller y control de cavitación	Mensual	Personal de mantenimiento
1	A		2	S	N	N	S	S					Lubricación y análisis de vibraciones de rodamiento	Mensual	Personal de mantenimiento
1	A		3	S	N	N	S	N	S				Revisión del acople (caucho matrimonio)	Mensual	Personal de mantenimiento
1	A		4	S	N	N	S	S					Monitoreo de corriente y temperatura del motor	Mensual	Personal de mantenimiento
Equipo: Blower Lobular															
1	A		1	S	N	N	S	S					Lubricación y monitoreo de rodamientos	Mensual	Personal de mantenimiento
1	A		2	S	N	N	S	N	S				Inspección del caucho matrimonio	Mensual	Personal de mantenimiento
1	A		3	S	N	N	S	S					Monitoreo de corriente, temperatura y aislamiento	Mensual	Personal de mantenimiento
Equipo: Blower Roton															
1	A		1	S	N	N	S	S					Programa de lubricación y análisis de vibraciones	Mensual	Personal de mantenimiento
1	A		2	S	N	N	S	N	S				Revisión del caucho matrimonio	Mensual	Personal de mantenimiento
1	A		3	S	N	N	S	S					Monitoreo eléctrico y limpieza del motor	Mensual	Personal de mantenimiento
Equipo: Bomba trifásica (Playa)															
1	A		1	S	N	N	S	S					Inspección del impulsor y cavitación	Mensual	Personal de mantenimiento
1	A		2	S	N	N	S	S					Lubricación y análisis de vibraciones	Mensual	Personal de mantenimiento
1	A		3	S	N	N	S	N	S				Revisión del acople	Mensual	Personal de mantenimiento
1	A		4	S	N	N	S	S					Termografía y monitoreo eléctrico del motor	Trimestral	Personal de mantenimiento

Nota. Hoja de decisión elaborada por Moubray (1997) (pág. 204) del libro Mantenimiento centrado en la confiabilidad.

La Tabla 36 propone varias tareas para mitigar riesgos de fallas que podrían perjudicar gravemente a la organización, alguna de estas acciones consiste en tareas de limpieza, inspecciones, comprobaciones, lubricación, monitoreos y termografías. La hoja de decisión también plantea en conjunto con los indicadores el intervalo en el que se realizaran las actividades de mantenimiento, en conjunto con el personal asignado.

La planificación de las actividades de mantenimientos esta ilustrada en la Figura 14, está compuesta por los equipos, sus componentes, las estrategias de mantenimiento, responsables, la frecuencia de mantenimiento y la designación de las actividades en un calendario anual. En la Tabla 37, se ilustra la leyenda del cronograma RCM.

Tabla 37.

Leyenda RCM.

Cronograma RCM	
Mensual	
Trimestral	
Semestral	

Nota. Tabla de colores de los periodos de mantenimiento.

Cronograma de implementación del RCM.

En la Figura 11, se designó cada una de las actividades a realizarse para conseguir un mantenimiento centrado en la confiabilidad. Con el color verde, se asignaron las actividades que se realizaran mensualmente, mientras que de color azul se les designo a las tareas que se efectuaran trimestralmente. Cabe recalcar que el cronograma incluye todos los equipos que cumplen las mismas características, por ese motivo se les asigno de manera estratégica 4 actividades de mantenimiento preventivo por semana. En consecuencia, se busca reducir la falta de organización y a su vez los periodos de inactividad de los equipos por mantenimiento y la frecuencia de fallas.

Figura 11.

Cronograma del plan RCM.

					CRONOGRAMA DEL PLAN MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD																																																
Equipo	Componentes	Estrategia de mantenimiento	Responsable	Frecuencia	Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre				
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	
Caldero	Boquillas	Limpieza periódica de boquillas, instalación de filtros y control de calidad del combustible	Personal de mantenimiento	Mensual	x				x				x				x				x				x				x				x				x				x				x								
	Carlin ignitor	Inspeccionar electrodos, verificar continuidad eléctrica y reemplazar componentes desgastados	Personal de mantenimiento	Trimestral				x									x												x											x													
	Impeller	Inspeccionar álabes periódicamente, Implementar plan de lubricación y monitoreo de temperatura	Personal de mantenimiento	Mensual	x				x				x				x				x				x				x				x				x				x				x								
	Rodamientos de bola	Revisar alineación, inspeccionar grietas y reemplazar según vida útil	Personal de mantenimiento	Mensual		x				x			x				x				x				x				x				x				x				x				x								
Bombas trifásicas (Movil)	Caucho matrimonio	Monitorear corriente, temperatura y resistencia de aislamiento	Personal de mantenimiento	Mensual			x					x					x				x				x				x				x				x				x				x								
	Motor		Personal de mantenimiento	Mensual				x					x				x				x				x				x				x				x				x				x								
	Rodamientos de bola	Implementar plan de lubricación, monitorear temperatura y vibraciones	Personal de mantenimiento	Mensual	x				x				x				x				x				x				x				x				x				x				x								
Blower lobular	Caucho matrimonio	Verificar alineación, inspeccionar grietas y reemplazar según condición	Personal de mantenimiento	Mensual		x						x					x				x				x				x				x				x				x				x								
	Motor	Monitorear corriente y temperatura, realizar pruebas de aislamiento y limpieza del motor	Personal de mantenimiento	Mensual			x					x					x				x				x				x				x				x				x				x								
	Rodamientos de bola	Implementar programa de lubricación y monitoreo de temperatura y vibraciones	Personal de mantenimiento	Mensual		x						x					x				x				x				x				x				x				x				x								
	Caucho matrimonio	Revisar estado del acople, verificar alineación y reemplazar cuando presente grietas o deformaciones	Personal de mantenimiento	Mensual			x					x					x				x				x				x				x				x				x				x								
Blower Roton	Motor	Realizar pruebas de aislamiento, monitorear corriente y temperatura, limpiar sistema de ventilación	Personal de mantenimiento	Mensual				x					x					x				x				x				x				x				x				x				x							
	Impeller	Inspección periódica del impulsor, control de cavitación y calidad del agua	Personal de mantenimiento	Mensual	x				x				x				x				x				x				x				x				x				x				x								
	Rodamientos de bola	Programa de lubricación y análisis de vibraciones	Personal de mantenimiento	Mensual		x						x					x				x				x				x				x				x				x				x								
Bombas trifásicas (Playa)	Caucho matrimonio	Revisión periódica del acople y alineación láser	Personal de mantenimiento	Mensual			x					x					x				x				x				x				x				x				x				x								
	Motor	Termografía, monitoreo de corriente y protección térmica	Personal de mantenimiento	Trimestral				x																																													
	Impeller	Inspección periódica del impulsor, control de cavitación y calidad del agua	Personal de mantenimiento	Mensual	x				x				x				x				x				x				x				x				x				x				x								
	Rodamientos de bola	Programa de lubricación y análisis de vibraciones	Personal de mantenimiento	Mensual		x						x					x				x				x				x				x				x				x				x								

Nota. Planificación de las actividades de mantenimiento.

El cronograma contempla mantenimiento principalmente preventivo: limpieza, lubricación, inspecciones visuales y revisiones periódicas de componentes como boquillas, impellers, rodamientos, cauchos y motores. También incluye monitoreo de temperatura, vibraciones, corriente y aislamiento eléctrico, además de ajustes o reemplazos cuando se detecte desgaste, fugas o fallas. La mayoría de actividades se realiza mensualmente y algunas revisiones eléctricas, trimestralmente.

Las herramientas principales serán equipos de medición de temperatura, vibración y corriente; medidor de aislamiento eléctrico; herramientas manuales para desmontaje y ajuste; equipos de limpieza; y materiales de lubricación y repuestos como rodamientos, cauchos o componentes eléctricos.

Medición del desempeño

La medición del desempeño de la implementación del RCM consiste en comparar los indicadores de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de la situación actual con la propuesta proyectada, para conocer el grado de mejora de este estudio.

Tabla 38.

Comparación MTTR actual y propuesto.

Código	Equipo	MTTR (Actual)	MTTR (Propuesto)	Mejora
BLW-R1	Blower Roton.	13.00	3.00	77%
BLW-L1	Blower lobular.	15.08	3.00	80%
BLW-E1	Blower industrial.	15.17	3.00	80%
BT-M1	Bombas trifásicas (móvil).	11.11	2.00	82%
BT-PL1	Bombas trifásicas (playa).	14.62	2.00	86%
BT-P1	Bombas trifásicas (poza).	15.00	2.00	87%
CAL-C1	Calderos.	16.00	4.00	75%
MTTR promedio.		14.28	2.71	81%

Nota. Niveles de mejora del MTTR extraída de las fichas de recolección de datos.

La Tabla 38 compara el MTTR de la situación actual de 14.28 horas con el MTTR propuesto de 2.71 horas. El índice de mejora es de 81 %, este nivel de mejora considera la reducción de tiempo de inactividad de los equipos por falta de organización y el mantenimiento preventivo.

Tabla 39.

Comparación del MTBF actual y propuesto.

Código	Equipo	MTBF (Actual)	MTBF (Propuesto)	Mejora
BLW-R1	Blower Roton.	584.00	1251.43	53%
BLW-L1	Blower lobular.	730.00	1460.00	50%
BLW-E1	Blower industrial.	730.00	1460.00	50%
BT-M1	Bombas trifásicas (móvil).	486.67	973.33	50%
BT-PL1	Bombas trifásicas (playa).	673.85	1460.00	54%
BT-P1	Bombas trifásicas (poza).	730.00	1460.00	50%
CAL-C1	Calderos.	876.00	1752.00	50%
MTBF promedio.		687.22	1402.39	51%

Nota. Niveles de mejora del MTBF extraída de las fichas de recolección de datos.

El tiempo promedio entre fallas (MTBF) mostrado en la Tabla 39, se incrementó en un 51 % con la implementación de la propuesta del mantenimiento centrado en la confiabilidad, este indicador se logró incrementar debido a la reducción de la frecuencia de fallas debido a una mejor organización en las actividades de mantenimiento.

Tabla 40.

Disponibilidad de los equipos propuesto.

Código	Equipo	Disponibilidad de los equipos			Disponibilidad (Propuesta)
		Disponibilidad (Actual)	MTBF	MTTR	
BLW-R1	Blower Roton.	97.82%	1251.43	3.00	99.76%
BLW-L1	Blower lobular.	97.98%	1460.00	3.00	99.79%
BLW-E1	Blower industrial.	97.96%	1460.00	3.00	99.79%
BT-M1	Bombas trifásicas (móvil).	97.77%	973.33	2.00	99.79%
BT-PL1	Bombas trifásicas (playa).	97.88%	1460.00	2.00	99.86%
BT-P1	Bombas trifásicas (poza).	97.99%	1460.00	2.00	99.86%
CAL-C1	Calderos.	98.21%	1752.00	4.00	99.77%
Disponibilidad promedio.		97.94%	1402.39	2.71	99.81%

Nota. Disponibilidad de los equipos con las mejoras proyectadas

La disponibilidad de los equipos de la Tabla 40, se incrementó del 97 % al 99.81 % por parte de los equipos. Esta proyección, indica que los equipos tendrán más tiempo para cumplir correctamente las funciones requeridas.

Tabla 41.

Confiabilidad de los equipos propuesta.

Código	Equipo	Confiabilidad		MTBF	Horas esperadas de operación	Confiabilidad (Propuesta)
		Confiabilidad (Actual)				
BLW-R1	Blower Roton.	28.9%		1251.43	720	56.0%
BLW-L1	Blower lobular.	37.0%		1460.00	720	60.8%
BLW-E1	Blower industrial.	37.0%		1460.00	720	60.8%
BT-M1	Bombas trifásicas (móvil).	22.5%		973.33	720	47.4%
BT-PL1	Bombas trifásicas (playa).	34.1%		1460.00	720	60.8%
BT-P1	Bombas trifásicas (poza).	37.0%		1460.00	720	60.8%
CAL-C1	Calderos.	43.7%		1752.00	720	66.1%
Confiabilidad promedio.		34.3%		1402.39	720	59%

Nota. Nivel de mejora en la confiabilidad de los equipos.

La Tabla 41 detalla el estado actual y propuesto de uno de los indicadores clave para la metodología RCM, en primeras instancias la confiabilidad era de 34.3 % con un alto índice de riesgos de fallas en un periodo de 30 días (720 horas), una vez implementadas las acciones recomendadas y actividades planificadas la confiabilidad subió en un 59 %, es decir, que las actividades productivas tienen menos probabilidades que se interrumpan por fallas en los equipos. La confiabilidad aumento en un 24.7 % con relación a su estado actual, en fases intermedias y avanzadas de la implementación de un mantenimiento confiable este indicador incrementara su índice de mejora.

Productividad

La productividad es un indicador que mide el desempeño, en base a los recursos utilizados para obtener un producto. Para calcular la productividad es necesario aplicar la siguiente ecuación:

Ecuación 8.

Productividad.

$$Productividad = \frac{Unidades\ producidas}{Tiempo\ de\ operación}$$

Antes de la propuesta de mejora, el sistema de producción presentaba varios eventos que afectaban al producto final. Estos problemas provenían del sistema de bombas, blower y caldero, provocando paros de producción inesperados, que en su consecuencia perjudicaban al producto y su calidad. Por estos motivos, se registraban producciones de 90 millones de unidades en un tiempo de 720 horas de operaciones.

Entonces, la productividad antes del RCM se calcula de la siguiente manera:

$$Productividad_{Antes} = \frac{90\ millones\ de\ unidades}{720\ horas}$$

$$Productividad_{Antes} = 0,125 \frac{Unidades}{horas}$$

Después de la propuesta de mejora, se proyecta una producción de 160 millones de unidades en un tiempo programado de 720 horas. La producción se estableció en base a que se cumplan las condiciones ideales y se cumplan con las actividades programadas de producción.

$$Productividad_{Despues} = \frac{160\ millones\ de\ unidades}{720\ horas}$$

$$Productividad_{Despues} = 0,222 \frac{Unidades}{horas}$$

La productividad inicial es de 0.125 unidades sobre hora, por otra parte, la productividad después de la propuesta de mejora resultó de 0.222 unidades en una hora. Para conocer el nivel de mejora que obtuvo la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad, se aplicó el siguiente cálculo:

$$Mejora (\%) = \frac{0,222 - 0,125}{0.125} * 100$$

$$Mejora (\%) = 77,6\%$$

El incremento de la productividad es del 77.6 %, esto denota que hubo un incremento evidente. Por lo que, se concluye que la implementación de un plan de mantenimiento enfocado en la confiabilidad garantiza que se puede obtener un mejor desempeño utilizando los mismos recursos.

Análisis financiero

El análisis financiero analiza costos de mano de obra, equipos, materiales, servicios y costos indirectos de la propuesta de mejora planteada. Con la finalidad de interpretar si el proyecto es viable, por medio de indicadores de costos/beneficios, retorno de inversión y periodos de recuperación.

Tabla 42.

Estado financiero.

Concepto	Descripción	Cantidad	Unidad	Valor Unitario (USD)	Subtotal (USD)
1. Mano de obra					
Capacitación del personal técnico (4 técnicos).	4	Persona	\$	200.00	\$ 800.00
Capacitación del supervisor.	1	Persona	\$	250.00	\$ 250.00
Elaboración del plan RCM.	40	Horas	\$	12.50	\$ 500.00
Elaboración del AMFE y hojas de decisión.	24	Horas	\$	12.50	\$ 300.00
Implementación y seguimiento del plan.	32	Horas	\$	12.50	\$ 400.00
Subtotal Mano de obra					\$ 2,250.00
2. Equipos e instrumentos					
Medidor portátil de vibraciones.	1	Equipo	\$	380.00	\$ 380.00
Termómetro infrarrojo.	1	Equipo	\$	120.00	\$ 120.00
Pinza amperimétrica.	1	Equipo	\$	90.00	\$ 90.00
Multímetro digital.	1	Equipo	\$	85.00	\$ 85.00
Subtotal Equipos					\$ 675.00
3. Materiales e insumos					
Manuales y procedimientos.	1	Lote	\$	120.00	\$ 120.00
Papelería.	1	Lote	\$	80.00	\$ 80.00
Carpetas y archivadores.	1	Lote	\$	50.00	\$ 50.00
Etiquetas para mantenimiento.	1	Lote	\$	60.00	\$ 60.00
Subtotal Materiales					\$ 310.00

4. Servicios

Diagnóstico inicial del sistema.	1	Servicio	\$	250.00	\$	250.00
Asesoría técnica durante la implementación.	1	Servicio	\$	300.00	\$	300.00
Subtotal Servicios						\$ 550.00

5. Costos indirectos

Transporte y movilización.	1	Global	\$	120.00	\$	120.00
Imprevistos (5 %).	1	Global	\$	189.25	\$	189.25
Subtotal Costos indirectos						\$ 309.25
TOTAL						\$ 4,094.25

Costos anuales de mantenimiento

Mano de obra.	1.288 h × USD 8,33/h					\$ 10,729.04
Rodamientos.	Estimación anual.					\$ 900.00
Cauchos matrimonio.	Estimación anual.					\$ 550.00
Impeller.	Estimación anual.					\$ 750.00
Boquillas.	Estimación anual.					\$ 320.00
Carlin Ignitor.	Estimación anual.					\$ 450.00
Lubricantes.	Estimación anual.					\$ 500.00
Materiales menores.	Estimación anual.					\$ 400.00
Subtotal mantenimiento anual						\$ 14,599.04

INDICADORES FINANCIEROS

Inversión inicial.	Presupuesto de implementación.	\$ 4,094.25
Ahorro anual estimado.	Costos actuales – Costos propuestos.	\$ 10,504.8
Costo/Beneficio.	Ahorro/Inversión. ((Beneficio-Inversión) / Inversión) * 100.	\$ 2.57
Retorno de inversión (ROI).	Inversión/Ahorro anual. (((Costo actual – Costo propuesto) / Costo actual) × 100.	157%
Período de recuperación.		4,9 meses
Reducción de costos.		72%

Nota. Datos y costos extraídos de la recolección de información.

En la Tabla 42 se muestra el análisis financiero el cual evidencia la viabilidad económica de la propuesta donde se pueden visualizar que el costo de implementación es de \$4,094.25, adicional se observa que el ahorro anual proyectado es de \$10,504.79.

De igual la relación beneficio/costo el cual indica que por cada dólar invertido se obtiene un beneficio de \$2,46. Teniendo un periodo de recuperación de la inversión de 4,9 meses.

3.5. Marco de discusión

Este estudio se realizó en base a la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), en fases iniciales se recopilaron datos a través de una encuesta estructurada, fichas técnicas y unas fichas de RCM dirigida a los miembros del área de mantenimiento de la empresa Lepabi. Cía. Ltda., estas herramientas proporcionaron datos como los componentes de los equipos, sus funciones, modos y efectos de falla, adicionalmente información referente a las operaciones que se realizan dentro del sistema operativo.

Estos datos fueron sometidos al diagnóstico situacional, el cual se realizó mediante el análisis de criticidad, diagrama de Pareto y la matriz AMFE, obteniendo como conclusión que equipos como el caldero, la bomba trifásica (móvil) y de playa, blower Roton y blower lobular pueden ser los posibles causantes de la paralización de la producción, esto se debe a que esta maquinaria es de suma importancia dentro del proceso. No obstante, para conocer la causa raíz se realizó el Análisis de Modo de Fallas y Efectos (AMFE), el cual dio como resultado los componentes que presentan un nivel alto de prioridad de riesgo de falla, lo que ayuda a priorizar los riesgos potenciales y proponer acciones correctivas que den solución a los modos de falla.

La propuesta se realizó en base al árbol de decisiones que detalla Monray en su libro mantenimiento enfocado en la confiabilidad el cual ayudó a definir las tareas o acciones preventivas que se realizaran para el mantenimiento y correcto funcionamiento de los equipos anteriormente mencionados, además se puede definir el intervalo del mantenimiento, el cual puede ser mensual, trimestral o semestral. En este estudio se obtuvo que es necesario un mantenimiento mensual para evitar la paralización de la producción, debido a la necesidad inmediata de estos equipos. A partir de estos datos obtenidos se realizó un cronograma en el cual se establece las

actividades correctivas y preventivas que serán necesarias para lograr el correcto funcionamiento de estos equipos.

La implementación de las acciones correctivas disminuyó el tiempo promedio de reparación, el cual anteriormente era de 14.28 horas y actualmente con la propuesta de mejora menguó a 2.71, es decir que tuvo una mejora del 81 %, también se obtuvo un aumento en el tiempo medio entre falla siendo este de un 51 %, por otro lado, también mejoró el porcentaje de confiabilidad en un 24.7 %. De este modo se puede deducir que el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad influye positivamente en el aumento de la productividad.

CONCLUSIONES

La revisión sistemática de la literatura ayudo a analizar más de mil artículos, de los cuales únicamente se analizaron 50, estos fueron elegidos gracias a criterios de inclusión y exclusión utilizados, además se realizó un diagrama prisma, donde se pudo obtener resultados más concretos. Estos artículos permitieron conocer cuáles serán las herramientas de recolección de datos para el estudio y adicional también el tipo de enfoque de la investigación el cual se determinó como cuantitativo.

Una vez determinado que el alcance de la investigación es descriptivo-correlacional, se llevó a cabo la toma de datos, esta se realizó en base a las herramientas y técnicas arrojadas en el primer capítulo, cuya confiabilidad y fiabilidad fue comprobada a partir del coeficiente de Cronbach cuyo valor fue de 0.782, adicional el coeficiente de correlación de Pearson demostró que la hipótesis general de este estudio entra en un rango de correlación alta por lo que se aprobó la hipótesis alternativa y se rechazó la nula, demostrándolo con un coeficiente de 0.87.

A partir de los resultados recolectados se pudo determinar que actualmente en la empresa se lleva a cabo un mantenimiento correctivo, por lo que al existir algún tipo de falla en las maquinas más relevantes esto supondría la paralización total o parcial de la producción, por lo que se optó a implementar un mantenimiento preventivo , el cual permitirá reducir el tiempo promedio de reparación en un 81 %, así mismo el tiempo medio entre fallas aumento en un 51 %, la disponibilidad de los equipos incremento en aproximadamente 2 % y mejoró el índice de confiabilidad en 59 %. Estos resultados evidencian que la aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) ayuda mejorar el desempeño del mantenimiento por lo que la productividad incrementará favorablemente.

RECOMENDACIONES

Es recomendable que en futuros estudios se sigan utilizando revisiones sistemáticas de la literatura con criterios de inclusión y exclusión que deben ser claramente definidos, de igual manera es importante que se complemente con diagramas como el Prisma, esto para garantizar que la selección de la información sea confiable y pertinente, ayudando a fortalecer el sustento teórico y metodológico de los estudios relacionados con el mantenimiento industrial.

Para mantener un proceso continuo es necesario que la recolección y análisis de datos se realice mediante instrumentos previamente validados todo esto con el propósito de que se monitoree periódicamente el comportamiento de los indicadores de mantenimiento y productividad lo cual facilitará a la toma de decisiones basadas en la información objetiva y confiable.

De igual manera es recomendable implementar de forma progresiva el plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), dándole como prioridad a los equipos de mayor criticidad e incorporando actividades de mantenimiento preventivo. por otro lado, es aconsejable realizar un seguimiento de manera periódica de los indicadores RAM (MTBF, MTRR, disponibilidad y confiabilidad), así mismo también es necesario evaluar la productividad todo esto para conocer la efectividad de la propuesta y establecer más acciones de mejora continua las cuales contribuyan a incrementar la confiabilidad y la continuidad de los equipos del laboratorio.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, F. S. F. (2023). Los enfoques de investigación en las Ciencias Sociales. *Revista Latinoamericana Ogmios*, 3(8), 82–95. <https://doi.org/10.53595/rlo.v3.i8.084>
- Andrade, S. C. L., & Herrera, S. M. (2018). Análisis de la situación actual del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM | Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación. ISSN: 2697-3693. *INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*. ISSN: 2737-6249. <https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/31>
- Aníbal, L. M., Guillermo Vázquez Araujo, J., César Martínez Vázquez, M., Enrique González Cisneros, L., Manuel Coronado Manqueros, J., Barraza Macías, A., de Jesús Mejía Carrillo Juan Antonio Mercado Piedra, M., & Fernando Galindo Vargas, L. (2021). *Manual de temas nodales de la investigación cuantitativa*.
- Antunez, J. (2019). Niveles de productividad operacional. Caso Laboratorios de Ingeniería Mecánica de las Universidades Públicas región Zulia-Venezuela. *Revista Boliviana de Ingeniería*, 1(2), 83–93. <https://doi.org/10.33996/REBI.V1I2.191>
- Arenhart, R. S., Pizzolato, M., Mendes, A. A., & Braghirolli, L. (2020). Contribution evaluation of the maintenance plans based on reliability centered maintenance for measuring instruments in Public Higher Education Institutions. *Brazilian Journal of Operations and Production Management*, 17(2). <https://doi.org/10.14488/BJOPM.2020.020>
- Asfaw, B. Z., Haile Woldegiorgis, B., Meles, T. Y., & Paramasivam, V. (2026). Identification of Critical Machine in Textile Industry Using Reliability-Centred Maintenance and Failure Mode and Effects Analysis—A Case Study of Bahir Dar Textile's Share Company. *The Journal of Engineering*, 2026(1). <https://doi.org/10.1049/tje2.70170>
- Bauce, G. J., Córdova, M. A., & Avila, A. V. (2018). Operacionalización de variables. *Revista Del Instituto Nacional de Higiene “Rafael Rangel,”* 49(2). https://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_inhrr/article/view/18686

- Benel, B. A. P. (2019). *Propuesta de un sistema de gestión de mantenimiento para aumentar la rentabilidad en la empresa agroindustrias y comercio S.A.* <https://Repositorio.Usat.Edu.Pe/Items/B4ee47fa-9c61-4410-A17b-C191bd69f2ff>.
- Campos-López, O., Tolentino-Eslava, G., Toledo-Velázquez, M., & Tolentino-Eslava, R. (2019a). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos. *Científica*, 23(1), 51–59. <https://doi.org/10.46842/IPN.CIEN.V23N1A06>
- Carvalho de Oliveira, C. R., Pereira, J. C., & Pizzolato, N. D. (2023). Combined application of condition-based maintenance and reliability centred maintenance using PFMEA and lean concepts – a case study. *International Journal of Information and Decision Sciences*, 15(3), 302–325. <https://doi.org/10.1504/IJIDS.2023.132825>
- Castañeda, S., Rodriguez, S., Yildiz, O., Aranda, D., & Alvarez, J. C. (2024). Increase of the Availability of Machinery in a Food Company Applying the TPM, SMED and RCM Methodologies. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 72(8), 128–138. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V72I8P114>
- Da Silva, R. F., Melani, A. H. de A., Michalski, M. A. de C., & de Souza, G. F. M. (2023). Reliability and Risk Centered Maintenance: A Novel Method for Supporting Maintenance Management. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(19). <https://doi.org/10.3390/app131910605>
- Diagrama de flujo PRISMA 2020 — Declaración PRISMA.* (2020). <https://www.prisma-statement.org/prisma-2020-flow-diagram>
- Domínguez, C. E. C., Martínez, N. F., & Pérez, I. (2022). El estado del arte, ¿Necesidad o necesidad? *Opción: Revista de Ciencias Humanas y Sociales*, ISSN 1012-1587, N°. Extra 29, 2022, Págs. 139-153, (29), 139–153. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7300714>

- Espinosa, C. G., Montenegro, J. E., Lindao, J. A., & Muyulema, J. C. (2024). Análisis bibliométrico sobre Sistemas de Producción Lean Circular. *593 Digital Publisher CEIT*, 9(2), 5–14. <https://doi.org/10.33386/593DP.2024.2.2310>
- Guanoluisa-Almache, F. A. G. A., Bosquez Remache, J. D., Esparza Pijal, S. B., & Benavides Salazar, C. fernando. (2023). *Vista de Apuntes sobre los métodos de investigación y técnicas de recolección de datos utilizadas en la investigación jurídica*. <https://revistasbnjm.sld.cu/index.php/BAI/article/view/760/653>
- Loyola, E. F. C., & Olivera, F. J. C. (2025). Impacto de la gestión del MTBF y MTTR en el índice de disponibilidad de camiones mineros Caterpillar 785-793. *Revista I+i*, 19, 51–60. <https://doi.org/10.71701/YR73RQ81>
- Martello, V., & Cleve, A. (2024). La selección de la muestra en el proceso de investigación. *Los Diseños Estructurados y La Investigación Cuantitativa: Aportes Para Su Enseñanza Desde El Trabajo Social*, 19–33. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/169101>
- Martinez-Monseco, F. J. (2021). An approach to a maintenance plan for a turbine of hydroelectric power plant. Optimisation based in RCM and FMECA analysis. *Journal of Applied Research in Technology & Engineering*, 2(1), 39. <https://doi.org/10.4995/jarte.2021.14761>
- Mollo, S. E. C. (2023). Diseños de investigación cualitativa y cuantitativa. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 1865–1879. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7016
- Muñoz, J. L., & Macías, M. C. (2021). Mantenimiento centrado en la confiabilidad a equipos en industria de conservas de atún. *Científica*, 25(2), 1–12. <https://doi.org/10.46842/IPN.CIEN.V25N2A05>
- Opan, M., Uli Wildan Nuryanto, & Yolla Sukma Handayani. (2026). Strategy for Implementing Reliability Centered Maintenance to Improve Productivity in the Cajuput Oil Production Process at PT. Eagle Indo Pharma. *International Journal of Economics and Management Research*, 5(1), 608–619. <https://doi.org/10.55606/ijemr.v5i1.720>

- Ordoñez-Pacheco, Á. F. (2025). *Vista de Metodología de la Investigación Metodología académica con aplicación a las investigaciones sociales: enfoques, tipos, métodos y diseños*. <https://institutojubones.edu.ec/ojs/index.php/societec/article/view/484/871>
- Otero-Potosi, S., Aguirre-Chagna, V., Lopez-Chamorro, S., Vargas-Chavarrea, Á., Suarez-Valencia, C., & Guevara-Vera, D. (2025). Evolución y nuevas perspectivas del mantenimiento industrial: una revisión sistemática. *STUDIES IN ENGINEERING AND EXACT SCIENCES*, 6(2), e17963. <https://doi.org/10.54021/seesv6n2-002>
- Paoprasert, N., Lin, W. Y. H., & Muneekaew, T. (2022). Assessing risk priority numbers of failures in the screw tightening machine of a hard disk drive production system. *Journal of Machine Engineering*, 22(1), 124–137. <https://doi.org/10.36897/jme/145272>
- Peñañiel, J., Arteaga, Á., & Daquinta-Gradaille, A. (2021). Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) caso de aplicación máquina empacadora de atún en latas | Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación. ISSN: 2697-3693. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*. ISSN: 2737-6249., 4. <https://www.journalingeniar.journalgestar.org/index.php/ingeniar/article/view/64>
- Ponce, F. A. T. (2025). Eficiencia productiva en la industria camaronera del Ecuador: influencia de factores tecnológicos y ambientales en su competitividad. *Ciencia Latina: Revista Multidisciplinar*, ISSN-e 2707-2215, ISSN 2707-2207, Vol. 9, Nº. 1, 2025, Págs. 1696-1713, 9(1), 1696–1713. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i1.15939
- Puji, A. andriyas. (2022). Biometric machine productivity analysis using overall equipment effectiveness (oe) method: case study. *Journal of Industrial Engineering and Halal Industries*, 3(1), 26–34. <https://doi.org/10.14421/jiehis.3501>
- Rivas, M. O. U., Hernández, L. T. L., Soto, M. A. B., & Urías, L. Á. R. (2025). Economía circular en la industria acuícola: innovación y sostenibilidad. *Revista*

- Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, 7(4), 22–37.
<https://doi.org/10.59169/PENTACIENCIAS.V7I4.1546>
- Salazar Salazar, C. (2021). *Población, muestra y muestreo*.
<localhost/xmlui/handle/11506/2634>
- Simanungkalit, R. M., Suliawati, S., & Hernawati, T. (2023). Analisis Penerapan Sistem Perawatan dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) pada Cement Mill Type Tube Mill di PT Cemindo Gemilang Medan. *Blend Sains Jurnal Teknik*, 2(1), 72–83.
<https://doi.org/10.56211/BLENDSAINS.V2I1.199>
- Siswanto, N., Badrus Zaman, M., Fahreza, F., -, al, Wicaksono, P. A., Saptadi, S., Nurkertamanda, D., & Rozaq, R. (2021). Production Machine Maintenance System Design Using Reliability Centered Maintenance. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1096(1), 012018.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/1096/1/012018>
- Tumbaco, M. D. (2025). *Aplicación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad para la mejora de disponibilidad operativa en Ecuasal S.A, comuna Monteverde -Ecuador*. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2025. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/14051>
- Uribe, S. C. (2020). Aplicación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de la máquina remalladora de una empresa textil. *Ingeniería Industrial*, ISSN 1025-9929, N°. 38, 2020, Págs. 15-31, (38), 15–31. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2020.n038.4812>
- Valle, A., Manrique, L., & Revilla, D. (2022). *La Investigación descriptiva con enfoque cualitativo en educación*.
<https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/184559>
- Vidya, A., & Aidil, J. (2023). Proposed Maintenance Plan for Maker Machinery with Reliability Centered Maintenance (RCM) Method and Maintenance Value Stream Mapping (MVSM) at PT. XYZ. *IJIEM - Indonesian Journal of Industrial Engineering and Management*, 4(3), 549.
<https://doi.org/10.22441/ijiem.v4i3.21445>

- Zambrano, T., & Ponsot, E. (2023). Aplicación de un modelo estocástico para el Análisis RAM de Máquinas Rotatorias en la Industria 4.0. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(2), 5101–5134. https://doi.org/10.37811/CL_RCM.V7I2.5709
- Zúñiga, P. I. V., Cedeño, R. J. C., & Palacios, I. A. M. (2023). Metodología de la investigación científica: guía práctica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 9723–9762. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7658

ANEXOS

Anexo A.

Cuestionario estructurado RCM.

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL 	
CUESTIONARIO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	
Objetivo: Recopilar datos clave del área de mantenimiento para apoyar la implementación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad	
Indicaciones: La presente encuesta se encuentra orientada al personal de mantenimiento, operarios y jefe de producción del laboratorio LEPABI CIA. LTDA. con propósito académico. Se solicita contestar con sinceridad y de acuerdo con las condiciones actuales del mantenimiento y funcionamiento de los equipos.	
Encuestador:	
Cargo:	Fecha:
P1.	¿Se encuentran definidas las funciones de los equipos del sistema?
1. ☐ No	2. ☐ Tal vez
3. ☐ Si	
P2.	¿Se han definido criterios para el funcionamiento de los equipos?
1. ☐ No	2. ☐ Tal vez
3. ☐ Si	
P3.	¿Se registran las fallas funcionales que afectan al desempeño del sistema?
1. ☐ No	2. ☐ Tal vez
3. ☐ Si	
P4.	¿Se analiza la frecuencia con que ocurren las fallas en los equipos?
1. ☐ No (1 vez al día)	2. ☐ Tal vez (2 veces al día)
3. ☐ Si (Mas de 3 veces al día)	
P5.	¿Se identifican los modos de fallas de los equipos más importantes?
1. ☐ No	2. ☐ Tal vez
3. ☐ Si	
P6.	¿Las fallas de los equipos se clasifican según su importancia o impacto?
1. ☐ No	2. ☐ Tal vez
3. ☐ Si	
P7.	¿Se analizan los efectos que generan las fallas en la operación?
1. ☐ No	2. ☐ Tal vez
3. ☐ Si	
P8.	¿Se evalúa el impacto de las fallas en la continuidad del proceso productivo?
1. ☐ No	2. ☐ Tal vez
3. ☐ Si	
P9.	¿Se establecen acciones de mantenimiento para prevenir fallas en los equipos?
1. ☐ No	2. ☐ Tal vez
3. ☐ Si	
P10.	¿Qué tipo de mantenimiento utilizan normalmente en los equipos importantes?

	1. ☐ Predictivo	2. ☐ Preventivo	3. ☐ Correctivo
P11.	¿En qué condiciones se encuentran los equipos?		
	1. ☐ Mal estado	2. ☐ Regular	3. ☐ Buen estado
P12.	¿Cada qué periodo de tiempo normalmente fallan los equipos?		
	1. ☐ Alto (Cada día)	2. ☐ Medio (Cada semana)	3. ☐ Bajo (Cada mes)
P13.	¿Cuál es el tiempo promedio necesario para reparar los equipos cuando ocurre una falla?		
	1. ☐ Alto (Mas de 5 horas)	2. ☐ Medio (Entre 2 a 5 horas)	3. ☐ Bajo (Menos de 2 horas)
P14.	¿Cuál es el tiempo promedio de parada de equipos debido a mantenimiento?		
	1. ☐ Alto (más de 8 horas)	2. ☐ Medio (entre 3 a 8 horas)	3. ☐ Bajo (menos de 3 horas)
P15.	¿Cómo es el desempeño de los equipos durante la operación?		
	1. ☐ Deficiente	2. ☐ Regular	3. ☐ Eficiente
P16.	¿Los equipos operan de acuerdo con su capacidad productiva esperada?		
	1. ☐ No	2. ☐ Tal vez	3. ☐ Si
P17.	¿Con qué frecuencia se presentan fallas en los equipos críticos del proceso?		
	1. ☐ Alto (Mas de 3 al día)	2. ☐ Medio (entre 1 a 3 al día)	3. ☐ Bajo (menos de 1 al día)
P18.	¿Con qué frecuencia se presentan fallas durante la operación?		
	1. ☐ Frecuentemente	2. ☐ Ocasionalmente	3. ☐ Nunca
P19.	¿Qué tan rápido se atienden las fallas cuando ocurren en los equipos?		
	1. ☐ Tardíamente (Mas de 3 días)	2. ☐ Moderadamente (1 a 2 días)	3. ☐ Inmediatamente (menos de 1 día)
P20.	¿Con qué frecuencia se detienen los equipos debido a fallas?		
	1. ☐ Frecuentemente	2. ☐ Ocasionalmente	3. ☐ Nunca

Anexo B.

Fichas de validación por juicios de expertos.

MATRIZ DE VALIDACIÓN POR CRITERIO DE JUECES O JUICIOS DE EXPERTOS															
INSTRUMENTOS DE VARIABLES															
VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES	ITEMS	ESCALA			CRITERIOS DE EVALUACIÓN								OBSERVACIÓN Y/O RECOMENDACIÓN
				1. SI	2. TAL VEZ	3. NO	ENTRE LA VARIABLE Y LA DIMENSIÓN		ENTRE LA DIMENSIÓN Y EL INDICADOR		ENTRE EL INDICADOR Y EL ÍTEM		ENTRE EL ÍTEM Y LA OPCIÓN DE		
							SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	
Mantenimiento centrado en la confiabilidad	Identificación de funciones del sistema	Definición de funciones del equipo	1 ¿Se encuentran definidas las funciones de los equipos del sistema?												
		Estándares de desempeño de los equipos	2 ¿Se han definido criterios para el funcionamiento de los equipos?												
	Análisis de fallas funcionales	Registro de fallas funcionales	3 ¿Se registran las fallas funcionales que afectan al desempeño del sistema?												
		Frecuencia de ocurrencia de fallas	4 ¿Se analiza la frecuencia con que ocurren las fallas en los equipos?												
	Identificación de modos de fallas	Determinación de modos de falla	5 ¿Se identifican los modos de fallas de los equipos más importantes?												
		Clasificación de modos de falla	6 ¿Las fallas de los equipos se clasifican según su importancia o impacto?												
	Análisis de efectos de fallas	Evaluación de consecuencias operacionales	7 ¿Se analizan las consecuencias que generan las fallas en la operación?												
		Impacto de las fallas en la producción	8 ¿Se evalúa el impacto de las fallas en la continuidad del proceso productivo?												
	Selección de estrategias de mantenimiento	Definición de tareas preventivas o predictivas	9 ¿Se establecen acciones de mantenimiento para prevenir fallas en los equipos?												
		Priorización del mantenimiento según criticidad	10 ¿Qué tipo de mantenimiento utilizan normalmente en los equipos importantes?												
Productividad	Disponibilidad de equipos	Porcentaje de disponibilidad de equipos	11 ¿En que condiciones se encuentran los equipos?												
		Tiempo promedio entre fallas (MTBF)	12 ¿Cada que periodo de tiempo normalmente fallan los equipos?												
	Mantenibilidad de los equipos	Tiempo promedio de reparación (MTTR)	13 ¿Cuál es el tiempo promedio necesario para reparar los equipos cuando ocurre una falla?												
		Tiempo de parada por mantenimiento	14 ¿Cuál es el tiempo total de parada de equipos debido a mantenimiento?												
	Eficiencia global del equipo	Índice de eficiencia global del equipo (OEE)	15 ¿Cómo es el desempeño de los equipos durante la operación?												
		Rendimiento operativo del equipo	16 ¿Los equipos operan de acuerdo con su capacidad productiva esperada?												
	Confiabilidad operativa	Frecuencia de fallas en equipos críticos	17 ¿Con qué frecuencia se presentan fallas en los equipos críticos del proceso?												
		Tasa de fallas del sistema	18 ¿Con qué frecuencia se presentan fallas durante la operación?												
	Eficiencia operativa	Tiempo de respuesta ante fallas	19 ¿Qué tan rápido se atienden las fallas cuando ocurren en los equipos?												
		Frecuencia de paradas por fallas	20 ¿Con qué frecuencia se detienen los equipos debido a fallas?												

Anexo C.

Ficha de evaluación de aspectos.

FICHA DE VALIDACIÓN POR JUICION DE EXPERTOS DEL CUESTIONARIO																							
Título		Aplicación de la metodología mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la productividad en la empresa Lepabi CIA. LTDA. Santa Elena-Ecuador.																					
Indicadores		Criterios	Inadecuado				Medianamente adecuado				Adecuado				Muy adecuado				Totalmente adecuado				Observaciones
			0-20				21-40				41-60				61-80				81-100				
Aspectos de validación			0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	
			5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
1	Claridad	Las sesiones están formuladas con lenguaje apropiado.																					
2	Objetividad	Las sesiones expresan conductas observables.																					
3	Actualidad	Las sesiones están adecuadas a las teorías, enfoques o modelos teóricos.																					
4	Organización	Existe organización lógica entre las sesiones.																					
5	Suficiencia	Las sesiones comprenden los aspectos necesarios a fortalecer.																					
6	Intencionalidad	Las sesiones valoran las dimensiones del tema.																					
7	Consistencia	Las sesiones están basadas en aspectos teóricos-científicos.																					
8	Coherencia	Las sesiones tienen relación con los indicadores de la variable independiente.																					
9	Metodología	Las sesiones responden al diseño de investigación metodológico.																					
10	Pertinencia	Las sesiones son útiles y adecuadas para modificar la variable dependiente.																					
INSTRUCCIONES: Esta ficha, sirve para que el EXPERTO EVALUADOR evalúe la pertinencia, eficacia del programa que esta validando. Deberá colocar la puntuación que considere pertinente a los diferentes enunciados.															Promedio:								
La libertad, 28 de mayo del 2026																							
Experto			FIRMA DEL EXPERTO																				
ORCID																							
Profesión																							
C.I:																							
Celular																							

Anexo D.

Calificaciones por expertos.

MATRIZ DE VALUACIÓN POR JUICIOS DE EXPERTOS														
VARIABLE	DIMENSION	INDICADORES	ITEMS	ESCALA										
				INTERLA VALUABLE Y LA DIMENSION		ENTRE LA DIMENSION Y LA DIMENSION		ENTRE LA DIMENSION Y LA DIMENSION		ENTRE LA DIMENSION Y LA DIMENSION		ENTRE LA DIMENSION Y LA DIMENSION		
				SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	
Mantenimiento preventivo en la central de datos	Eficacia	Definición de funciones	1 ¿Se encuentran definidas las funciones de los equipos del sistema?											
			2 ¿Se han definido correctamente para el funcionamiento de los equipos?											
			3 ¿Se han definido correctamente para el funcionamiento de los equipos?											
			4 ¿Se han definido correctamente para el funcionamiento de los equipos?											
			5 ¿Se han definido correctamente para el funcionamiento de los equipos?											
			6 ¿Se han definido correctamente para el funcionamiento de los equipos?											
			7 ¿Se han definido correctamente para el funcionamiento de los equipos?											
			8 ¿Se han definido correctamente para el funcionamiento de los equipos?											
			9 ¿Se han definido correctamente para el funcionamiento de los equipos?											
			10 ¿Se han definido correctamente para el funcionamiento de los equipos?											
Productividad	Eficacia	Definición de funciones	1 ¿Se encuentran definidas las funciones de los equipos del sistema?											
			2 ¿Se han definido correctamente para el funcionamiento de los equipos?											
			3 ¿Se han definido correctamente para el funcionamiento de los equipos?											
			4 ¿Se han definido correctamente para el funcionamiento de los equipos?											
			5 ¿Se han definido correctamente para el funcionamiento de los equipos?											
			6 ¿Se han definido correctamente para el funcionamiento de los equipos?											
			7 ¿Se han definido correctamente para el funcionamiento de los equipos?											
			8 ¿Se han definido correctamente para el funcionamiento de los equipos?											
			9 ¿Se han definido correctamente para el funcionamiento de los equipos?											
			10 ¿Se han definido correctamente para el funcionamiento de los equipos?											

HOJA DE VALUACIÓN POR JUICIONES DE EXPERTOS DEL CUESTIONARIO																					
Aplicación de la metodología mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la productividad en la empresa Lepal CA. LTDA. Santa Elena-Ecuador.																					
Ítem	Indicadores	Criterios	ESCALA										Observaciones								
			Indicador	Mediamente adecuado	Muy adecuado	Totalmente adecuado															
1	Claridad	Aspectos de validación	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10								
2	Objetividad	Las sesiones expresan conductas observables.	0	1	18	21	24	31	34	41	44	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96
3	Actitud	Las sesiones están adecuadas a las teorías, enfoques o modelos teóricos.	0	1	18	21	24	31	34	41	44	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96
4	Organización	Existe organización lógica entre las sesiones.	0	1	18	21	24	31	34	41	44	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96
5	Suficiencia	Las sesiones comprenden los aspectos necesarios a fortalecer.	0	1	18	21	24	31	34	41	44	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96
6	Intencionalidad	Las sesiones valoran las dimensiones del tema.	0	1	18	21	24	31	34	41	44	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96
7	Consistencia	Las sesiones están basadas en aspectos teóricos-científicos.	0	1	18	21	24	31	34	41	44	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96
8	Coherencia	Las sesiones tienen relación con los indicadores de la variable	0	1	18	21	24	31	34	41	44	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96
9	Metodología	Las sesiones responden al diseño de investigación metodológico.	0	1	18	21	24	31	34	41	44	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96
10	Pertinencia	Las sesiones son útiles y adecuadas para modificar la variable	0	1	18	21	24	31	34	41	44	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96
INSTRUCCIONES: Esta ficha, sirve para que el EXPERTO VALUADOR evalúe la pertinencia, eficacia del programa que está validando. Deben colocar la puntuación que considere pertinente a los diferentes enunciados.																					
La fecha: 28 de mayo del 2025			Firma: <i>[Firma]</i>																		
Firma: <i>[Firma]</i>			Firma: <i>[Firma]</i>																		
Firma: <i>[Firma]</i>			Firma: <i>[Firma]</i>																		

MATRIZ DE VALUACIÓN POR JUICIOS DE EXPERTOS													
INTERVENCIONES DE VARIABLES													
VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES	ITEMS	ESCALA									
				ENTRE LA DIMENSIÓN DE LA DIM									

FICHA DE VALUACIÓN POR JUICIONES DE EXPERTOS DEL CUESTIONARIO													
Aplicación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la productividad en la empresa Lepal CA. LTDA. Santa Elena-Ecuador.													
Indicadores	Criterios	ESCALA											
		Indicador	Mediamente adecuado	Muy adecuado	Totalmente adecuado						Observaciones		
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Claridad	Las sesiones están formuladas con lenguaje apropiado.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	Objetividad	Las sesiones expresan conductas observables.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	Actitud	Las sesiones están adecuadas a las teorías, enfoques o modelos teóricos.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	Organización	Existe organización lógica entre las sesiones.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	Suficiencia	Las sesiones comprenden los aspectos necesarios a fortalecer.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	Intencionalidad	Las sesiones valoran las dimensiones del tema.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7	Consistencia	Las sesiones están basadas en aspectos teóricos-científicos.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8	Coherencia	Las sesiones tienen relación con los indicadores de la variable.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9	Metodología	Las sesiones responden al diseño de investigación metodológico.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	Pertinencia	Las sesiones son útiles y adecuadas para modificar la variable.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INSTRUCCIONES: Esta ficha, sirve para que el EXPERTO EVALUADOR evalúe la pertinencia, eficacia del programa que está validando. Deben colocar la puntuación que considere pertinente a los diferentes enunciados.													
La fecha: 28 de mayo del 2025													
Firma: <i>[Firma]</i>													
Firma: <i>[Firma]</i>													
Firma: <i>[Firma]</i>													

FICHA DE VALIDACIÓN POR JUICIOS DE EXPERTOS DEL CUESTIONARIO														
Aplicación de la metodología mínimamente centrada en la confidencialidad para mejorar la productividad en la empresa Lepetit C.A. LTDA. Santa Elena-Ecuador.														
Ítem	Indicadores	Criterios	Indicador	Mediamente adecuado	Adequado	Muy adecuado	Totalmente adecuado	Observaciones						
			0-20	21-40	41-60	61-80	81-100							
1	Claridad	Las sesiones están formuladas con lenguaje apropiado.	0	18	21	35	45	55	65	75	85	95	100	
2	Objetividad	Las sesiones expresan conductas observables.	0	18	21	35	45	55	65	75	85	95	100	
3	Actualidad	Las sesiones están adecuadas a las teorías, enfoques o modelos teóricos.	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
4	Organización	Existe organización lógica entre las sesiones.												
5	Suficiencia	Las sesiones comprenden los aspectos necesarios a fortalecer.												95
6	Interrelacionabilidad	Las sesiones vibran las dimensiones del tema.												91
7	Consistencia	Las sesiones están basadas en aspectos teóricos-científicos.												97
8	Calidez	Las sesiones tienen relación con los indicadores de la variable												99
9	Metodología	Las sesiones responden al diseño de investigación metodológico.												94
10	Permanencia	Las sesiones son claras y adecuadas para modificar la variable												92
INSTRUCCIONES: Esta ficha sirve para que el EXPERTO valore la pertinencia, eficacia del programa que está validando. Deberá colocar la puntuación que considere pertinente a los diferentes mundados.										Promedio: <u>95.8</u>				
La fecha, 28 de mayo del 2016										Experto <u>Alfonso Alvarado</u> Nombre <u>Alfonso Alvarado</u> C.I. <u>0963326233</u> Celular <u>0939326233</u>				

[illegible]

MATRIZ DE VALUACIÓN POR CÍTRIO DE PUNTOS DE FUERZA DE ENTRENOS									
VARIABLE	DOMINIÓN	INDICADORES	ÍTEMAS	BUCLA		CRITERIOS DE EVALUACIÓN			
				PUNTO DE LA DIMENSIÓN DE LA EVALUACIÓN		PUNTO DE LA DIMENSIÓN DE LA EVALUACIÓN		PUNTO DE LA DIMENSIÓN DE LA EVALUACIÓN	
				1	2	3	4	5	6
Mantenimiento de la capacidad de resistencia	Mantenimiento de la capacidad de resistencia	1. ¿Se encuentran de hecho los factores de los equipos del sistema?	1. ¿Se encuentran de hecho los factores de los equipos del sistema?	X	X	X	X	X	X
		2. ¿Se ha definido criterios para el funcionamiento de los equipos?	2. ¿Se ha definido criterios para el funcionamiento de los equipos?	X	X	X	X	X	X
		3. ¿Se representan los factores que afectan al desempeño del equipo?	3. ¿Se representan los factores que afectan al desempeño del equipo?	X	X	X	X	X	X
		4. ¿Se analiza la frecuencia con que ocurren las fallas en los equipos?	4. ¿Se analiza la frecuencia con que ocurren las fallas en los equipos?	X	X	X	X	X	X
		5. ¿Se identifican los modos de fallas de los equipos más importantes?	5. ¿Se identifican los modos de fallas de los equipos más importantes?	X	X	X	X	X	X
		6. ¿Se definen los modos de falla de los equipos más importantes?	6. ¿Se definen los modos de falla de los equipos más importantes?	X	X	X	X	X	X
		7. ¿Se evalúan los impactos que generan las fallas en la capacidad de resistencia?	7. ¿Se evalúan los impactos que generan las fallas en la capacidad de resistencia?	X	X	X	X	X	X
		8. ¿Se analiza el impacto de las fallas en la continuidad del proceso productivo?	8. ¿Se analiza el impacto de las fallas en la continuidad del proceso productivo?	X	X	X	X	X	X
		9. ¿Se definen acciones de mantenimiento para prevenir fallas en los equipos?	9. ¿Se definen acciones de mantenimiento para prevenir fallas en los equipos?	X	X	X	X	X	X
		10. ¿Cuál tipo de mantenimiento utilizan actualmente en los equipos importantes?	10. ¿Cuál tipo de mantenimiento utilizan actualmente en los equipos importantes?	X	X	X	X	X	X
Productividad	Productividad	11. ¿En qué condiciones se encuentran los equipos?	11. ¿En qué condiciones se encuentran los equipos?	X	X	X	X	X	X
		12. ¿Cuál es el tiempo promedio para reparar los equipos cuando ocurre una falla?	12. ¿Cuál es el tiempo promedio para reparar los equipos cuando ocurre una falla?	X	X	X	X	X	X
		13. ¿Cuál es el tiempo promedio necesario para reparar los equipos cuando ocurre una falla?	13. ¿Cuál es el tiempo promedio necesario para reparar los equipos cuando ocurre una falla?	X	X	X	X	X	X
		14. ¿Cuál es el tiempo de parada de equipos debido a mantenimiento?	14. ¿Cuál es el tiempo de parada de equipos debido a mantenimiento?	X	X	X	X	X	X
		15. ¿Cuál es el tiempo de parada de equipos debido a mantenimiento?	15. ¿Cuál es el tiempo de parada de equipos debido a mantenimiento?	X	X	X	X	X	X
		16. ¿Cuál es el tiempo de parada de equipos debido a mantenimiento?	16. ¿Cuál es el tiempo de parada de equipos debido a mantenimiento?	X	X	X	X	X	X
		17. ¿Cuál es el tiempo de parada de equipos debido a mantenimiento?	17. ¿Cuál es el tiempo de parada de equipos debido a mantenimiento?	X	X	X	X	X	X
		18. ¿Cuál es el tiempo de parada de equipos debido a mantenimiento?	18. ¿Cuál es el tiempo de parada de equipos debido a mantenimiento?	X	X	X	X	X	X
		19. ¿Cuál es el tiempo de parada de equipos debido a mantenimiento?	19. ¿Cuál es el tiempo de parada de equipos debido a mantenimiento?	X	X	X	X	X	X
		20. ¿Cuál es el tiempo de parada de equipos debido a mantenimiento?	20. ¿Cuál es el tiempo de parada de equipos debido a mantenimiento?	X	X	X	X	X	X

FICHA DE VALIDACIÓN POR JUICIOS DE EXPERTOS DEL CUESTIONARIO																				
Título		Atribución de la responsabilidad de mantenimiento centrada en la confiabilidad de la información suministrada en la encuesta SPSS/CAI. TÍTULO: Encuesta de Evaluación del Impacto del Programa de Atención Integral a las Víctimas de la Violencia Armada en Colombia																		
Indicadores	Criterios	Mediamente adecuada		Adecuada		Muy adecuada		Totalmente adecuada												
		Inadecuado	Adecuado	Inadecuado	Adecuado	Inadecuado	Adecuado	Inadecuado	Adecuado											
	Aspectos de validez	0	6	11	16	21	24	31	36	41	51	56	61	64	71	76	81	86	91	96
1	Claridad	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
2	Objetividad																			
3	Actualidad																			
4	Organización																			
5	Suficiencia																			
6	Interrelacionabilidad																			
7	Consistencia																			
8	Coherencia																			
9	Metodología																			
10	Permanencia																			
INSTRUCCIONES. Esta ficha, para el EXPERTO VALIDADOR evalúa si realmente el/los programa que está validando. Debe ser diligenciado en los apartados correspondientes.																				
Elaborado por: Edgardo Martínez																				
Revisado por: Edgardo Martínez																				
Aprobado por: Edgardo Martínez																				
Fecha: 28 de mayo del 2016																				
Firma del Experto																				
Firma del Experto																				
C.I.: 9.525.254.626																				

Anexo E.

Firma de los expertos.

Validación de instrumentos por Experto 5

Nombre de instrumento: Cuestionario estructurado enfocado a la metodología mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Objetivo: Recopilar datos clave del área de mantenimiento para apoyar la implementación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Dirigido a: jefe de mantenimiento, Operarios del área de mantenimiento y operarios del área de producción en LEPABI Cia. Ltda.

Apellidos y nombre del evaluador: Reyes Soriano Franklin

Grado académico del experto evaluador: MSc.

Área de experiencia profesional: Profesional ☒ Educativa ☐

Institución dónde labora: Universidad Estatal Península de Santa Elena

Tiempo de experiencia profesional en el área:

Valoración:

Bueno	Regular	Malo
+		

La libertad, 29 de mayo del 2026



C.I: 0908336813
Experto 5

Validación de instrumentos por Experto 3

Nombre de instrumento: Cuestionario estructurado enfocado a la metodología mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Objetivo: Recopilar datos clave del área de mantenimiento para apoyar la implementación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Dirigido a: jefe de mantenimiento, Operarios del área de mantenimiento y operarios del área de producción en LEPABI Cia. Ltda.

Apellidos y nombre del evaluador: Veliz Alejandro Cristóbal

Grado académico del experto evaluador: PhD

Área de experiencia profesional: Profesional ☐ Educativa ☒

Institución dónde labora: Universidad Estatal Península de Santa Elena

Tiempo de experiencia profesional en el área:

Valoración:

Bueno	Regular	Malo
X		

La libertad, 29 de mayo del 2026



C.I: 0908182280
Experto 3

Validación de instrumentos por Experto 2

Nombre de instrumento: Cuestionario estructurado enfocado a la metodología mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Objetivo: Recopilar datos clave del área de mantenimiento para apoyar la implementación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Dirigido a: jefe de mantenimiento, Operarios del área de mantenimiento y operarios del área de producción en LEPABI Cia. Ltda.

Apellidos y nombre del evaluador: Pirela Amig Alonzo

Grado académico del experto evaluador: PHD

Área de experiencia profesional: Profesional (☒Educativa ()

Institución dónde labora: Universidad Estatal Península de Santa Elena

Tiempo de experiencia profesional en el área:

Valoración:

Bueno	Regular	Malo
X		

La libertad, 29 de mayo del 2026



C.I: 0962428074

Experto 2

Validación de instrumentos por Experto 1

Nombre de instrumento: Cuestionario estructurado enfocado a la metodología mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Objetivo: Recopilar datos clave del área de mantenimiento para apoyar la implementación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Dirigido a: jefe de mantenimiento, Operarios del área de mantenimiento y operarios del área de producción en LEPABI Cia. Ltda.

Apellidos y nombre del evaluador: Gerardo Herrera Brunett

Grado académico del experto evaluador: PHD.

Área de experiencia profesional: Profesional (☒Educativa ()

Institución dónde labora: Universidad Estatal Península de Santa Elena

Tiempo de experiencia profesional en el área:

Valoración:

Bueno	Regular	Malo
X		

La libertad, 29 de mayo del 2026



C.I: 0909254262

Experto 1 PHD GERARDO HERRERA BRUNETT

Anexo F.

Ficha técnica.

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL 		
FICHA TÉCNICA		
Nombre del equipo		
Código del equipo		
Área		
Sub-equipos	Componentes	Partes
Datos generales		
Horas de operación		
Días de operación		
Tipo de operación	Intermitente	
	Continua	
Condiciones ambientales		
Historial del equipo		
Frecuencia de fallas		
Tiempo total de inactividad por reparaciones		
Total de reparaciones		
Mantenimiento aplicado	Correctivo	
	Preventivo	
	Predictivo	
Tiempo promedio de reparación		
Impacto en la producción		
Costo de reparación		
Costos por paro de producción		
Acciones correctivas		
Personal involucrado		
Impacto ambiental		
Impacto en salud y seguridad ocupacional		
Impacto en la calidad		
Observaciones		

Anexo G.

Ficha RCM

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL 				
Hoja de registro RCM	Sistema:	Elaborado por:		
	Subsistema:	Aprobado por:		
		Código del equipo		
		Nº de hoja		
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTOS DE FALLAS	CONSECUENCIAS