



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

**“APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO
CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA LA MEJORA DE
DISPONIBILIDAD OPERATIVA EN ECUASAL S.A, COMUNA
MONTEVERDE-ECUADOR”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

AUTOR:

TUMBACO ESPAÑA MARIO DAVID

TUTOR:

ING. MARCO BERMEO GARCIA, MGTR.

La Libertad, Ecuador

2025

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

TEMA:

**“APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO
CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA LA MEJORA DE
DISPONIBILIDAD OPERATIVA EN ECUASAL S.A, COMUNA
MONTEVERDE-ECUADOR”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR:

TUMBACO ESPAÑA MARIO DAVID

TUTOR:

ING. MARCO BERMEO GARCIA, MGTR.

LA LIBERTAD, ECUADOR

2025

UPSE

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por Mario David Tumbaco España, como requerimiento para la obtención del título de Ingeniería Industrial.

TUTOR

f. 

Ing. Marco Bermeo García, Mgtr.

DIRECTOR DE CARRERA

f. 

Ing. Isabel del Rocío Balón Ramos, M.Sc

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación “APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA LA MEJORA DE DISPONIBILIDAD OPERATIVA EN ECUASAL S.A, COMUNA MONTEVERDE-ECUADOR” elaborado por el estudiante MARIO DAVID TUMBACO ESPAÑA, 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 haberlo dirigido, estudiado y revisado, la apruebo en su totalidad

La Libertad, 25 de junio del 2025

TUTOR

f. _____

Ing. Marco Bermeo García, Mgtr.

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Tumbaco España Mario David**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, “**APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA LA MEJORA DE DISPONIBILIDAD OPERATIVA EN ECUASAL S.A, COMUNA MONTEVERDE-ECUADOR**” previo a la obtención del título de Ingeniería Industrial, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conformes 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, 9 junio del 2025

AUTOR:

f. 
Tumbaco España Mario David

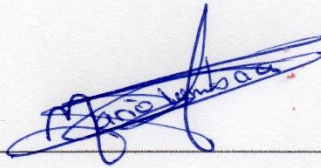
AUTORIZACIÓN

Yo, **Mario David Tumbaco España**

Autorizo a la Universidad Península de Santa Elena la publicación en la biblioteca de la Institución del Trabajo de Titulación, **APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA LA MEJORA DE DISPONIBILIDAD OPERATIVA EN ECUASAL S.A, COMUNA MONTEVERDE-ECUADOR**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

AUTOR:

f.



Tumbaco España Mario David

Lcda. Betty Ruth Gómez Suárez, Mgtr.
Celular: 0962183538
Correo: bettyruthgomez@educacion.gob.ec

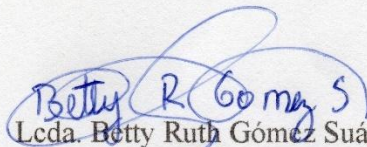
CERTIFICACIÓN GRAMATICAL Y ORTOGRÁFICA

Yo, **BETTY RUTH GÓMEZ SUÁREZ**, en mi calidad de **LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN Y MAGÍSTER EN DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS**, por medio de la presente tengo a bien indicar que he leído y corregido el Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial, denominado “**APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA LA MEJORA DE DISPONIBILIDAD OPERATIVA EN ECUSAL S.A, COMUNA MONTEVERDE-ECUADOR**”, del estudiante: **TUMBACO ESPAÑA MARIO DAVID**.

Certifico que está redactado con el correcto manejo del lenguaje, claridad en las expresiones, coherencia en los conceptos e interpretaciones, adecuado empleo en la sinonimia. Además de haber sido escrito de acuerdo a las normas de ortografía y sintaxis vigentes.

En cuanto puedo decir en honor a la verdad y autorizo al interesado hacer uso del presente como estime conveniente.

Santa Elena, 04 de Julio del 2025



Lcda. Betty Ruth Gómez Suárez, Mgtr.

CI. 0915036529

LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN
MAGÍSTER EN DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS
N° DE REGISTRO DE SENECYT 1050-2014-86052892

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a en primero lugar a Dios, por ser base fundamental en mi vida, también por haberme permitido culminar un grado más en mi trayectoria académica y por la certeza de que su guía estará presente en cada uno de los objetivos que me proponga.

Agradezco a mis padres, por ser parte esencial de este anhelo de convertirme en profesional, por no juzgarme y ayudarme todos los días a pesar de mis errores y aciertos, y por sus valiosos consejos que fueron motor de motivación durante todo mi proceso de formación.

Finalmente agradezco a mi familia, amigos, conocidos y compañeros que fueron parte de mi vida en este camino académico y personal, gracias por todos los momentos compartidos. Su ánimo constante, dedicación y respaldo han sido fundamentales para alcanzar este logro.

Mario David Tumbaco España

DEDICATORIA

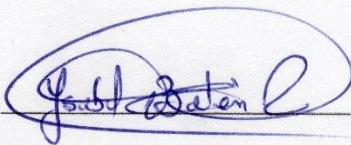
Dedico esta investigación, en primer lugar, a Dios todopoderoso, por haberme concedido la inteligencia, sabiduría, habilidades y fortalezas necesarias para afrontar cada desafío y circunstancia que surgió durante mi proceso de formación académica.

Así mismo, extendiendo esta dedicatoria a mis padres Pamela España y Mario Tumbaco, quienes han sido mi principal fuente de inspiración. Su apoyo incondicional y constante que me ha acompañado en cada etapa de este camino, motivándome a crecer personal y profesionalmente dentro de la carrera de Ingeniería Industrial y a alcanzar los objetivos que me propuse.

Mario David Tumbaco España

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f.



Ing. Isabel del Rocío Balón Ramos, M.Sc

DIRECTOR DE LA CARRERA

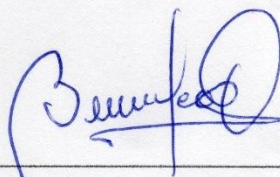
f.



Ing. Brunett Herrera Gerardo Antonio Msc, PhD.

DOCENTE ESPECIALISTA

f.



Ing. Marco Bermeo García, Mgtr.

DOCENTE TUTOR

f.



Dr. Graciela Celedonia Sosa Bueno, PhD.

DOCENTE GUÍA DE LA UIC

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN	III
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	IV
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	V
AUTORIZACIÓN	VI
CERTIFICADO ANTIPLAGIO	VII
CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA.....	VIII
AGRADECIMIENTOS	IX
DEDICATORIA.....	X
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	XI
ÍNDICE TABLAS.....	XIV
ÍNDICE FIGURAS.....	XVI
ÍNDICE ANEXOS	XVII
LISTA DE ABREVIATURAS Y TABLA DE SÍMBOLOS	XVIII
RESUMEN.	XIX
ABSTRACT.....	XX
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	5
MARCO TEÓRICO.....	5
1.1 Antecedentes investigativos	5
1.2 Estado del arte	6
1.3 Fundamentos teóricos.....	23
CAPÍTULO II.....	30
MARCO METODOLÓGICO.....	30
2.1 Enfoque de la investigación	30
2.2 Tipo y diseño de la investigación.....	30
2.3 Procedimiento metodológico.....	31
2.4 Población y muestra	32
2.5 Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos	34
2.6 Variables y Operación	37

2.7	Procedimiento para la recolección de datos	40
2.8	Plan de análisis e interpretación de resultados	40
CAPÍTULO III.....		41
3.1	Presentación de Resultado.....	41
3.2	Validez y Confiabilidad del instrumento	41
3.3	Descripción de la empresa.....	49
3.4	Aplicación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad	51
CONCLUSIONES		84
RECOMENDACIONES.....		85
REFERENCIAS.....		86
ANEXOS... ..		96

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1.	Objetivos Propuestos	7
Tabla 2.	Preguntas de investigación.....	7
Tabla 3.	Cadenas de búsqueda	8
Tabla 4.	Aplicación de criterios en las herramientas de búsqueda	9
Tabla 5.	Propuestas de las líneas de investigación.....	10
Tabla 6.	Análisis de los artículos en base a las líneas de investigación propuestas.....	11
Tabla 7.	Calificación de la severidad.....	25
Tabla 8.	Calificación de ocurrencia	25
Tabla 9.	Calificación de detección.....	26
Tabla 10.	Prioridad de NPR	26
Tabla 11.	Criterios con los respectivos puntajes de cada escala.....	27
Tabla 12.	Distribución de la población Ecuasal S. A.....	33
Tabla 13.	Distribución de la muestra Ecuasal S. A.....	33
Tabla 14.	Técnicas de Recolección de datos.....	35
Tabla 15.	Instrumentos de recolección	35
Tabla 16.	Operacionalización de Variable Independiente.....	38
Tabla 17.	Operacionalización de Variable Dependiente	39
Tabla 18.	Plan de análisis e interpretación de resultados.....	40
Tabla 19.	Puntuación de expertos	43
Tabla 20.	Resultados de la encuesta.....	43
Tabla 21.	Tabulación de los datos obtenidos por el cuestionario estructurado.....	45
Tabla 22.	Procesamiento de casos.....	46
Tabla 23.	Fiabilidad del instrumento cuestionario estructurado	46
Tabla 24.	Coeficiente de correlación de Pearson	48
Tabla 25.	Jerarquización de elementos	53
Tabla 26.	Tabla de identificación de modos de fallas y funciones	54
Tabla 27.	Justificación de asignación de valores	56
Tabla 28.	Matriz de criticidad de los equipos analizados	58
Tabla 29.	Niveles de criticidad por equipo	59
Tabla 30.	EQ-005 Lavadero Tornillo sin fin (AMEF)	61
Tabla 31.	EQ-006 Escurridor vibrante ESS180/330 (AMEF)	62

Tabla 32.	EQ-008 Cinta transportadora TCLG 650x30 (AMEF).....	64
Tabla 33.	EQ-003 Alimentador vibrador (AMEF).....	65
Tabla 34.	EQ-001 Tolva de alimentación (20 m ³) (AMEF).....	67
Tabla 35.	EQ-004 Cinta transportadora TC 650x14 (AMEF)	68
Tabla 36.	NPR más altos y mejora en situación esperada	70
Tabla 37.	Tiempo medio de reparación por equipos.....	72
Tabla 38.	Tiempo medio entre fallas por equipo	72
Tabla 39.	Disponibilidad de cada equipo.....	73
Tabla 40.	Confiabilidad de cada equipo al mes operativo (160 horas).....	74
Tabla 41.	Criterios para cronograma basado en RCM.....	75
Tabla 42.	Tiempo medio de reparación por equipos Proyectado.....	78
Tabla 43.	Tiempo medio entre fallas por equipo	78
Tabla 44.	Disponibilidad de cada equipo.....	79
Tabla 45.	Confiabilidad de cada equipo al mes operativo (160 horas).....	79
Tabla 46.	Valor de contratación Mano de Obra	80
Tabla 47.	Costos para levantamiento de información e implementación	80
Tabla 48.	Escenarios optimistas y pesimistas	82

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1.	Procedimiento revisión sistemática de la literatura	6
Figura 3.	Criterios de exclusión	8
Figura 2.	Criterios de inclusión	8
Figura 4.	Diagrama de flujo con recomendaciones de PRISMA 2020	9
Figura 5.	Palabras claves del motor de búsqueda Scopus (602 artículos).....	18
Figura 6.	Palabras claves del motor de búsqueda Web Of Science (450 artículos)	19
Figura 7.	Análisis del mapa de autores -coautoría, con evolución temporal (1909 artículos) .	20
Figura 8.	Análisis del mapa de países con evolución temporal (1909 artículos)	20
Figura 9.	Distribución de enfoques metodológicos.....	21
Figura 10.	Distribución de variables de artículos.....	22
Figura 11.	Gráfico de barras de técnicas de recolección de datos.....	22
Figura 12.	Fases de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad.....	31
Figura 13.	Procedimiento de recolección de datos.....	34
Figura 14.	Proceso para la recopilación de datos	40
Figura 15.	Proceso para evaluación de instrumentos	42
Figura 16.	Logo Ecuasal S, A.....	49
Figura 17.	Organigrama Funcional	50
Figura 18.	Taxonomía de equipos con niveles taxonómicos.....	52
Figura 19.	Diagrama de Pareto.....	60
Figura 20.	Diagrama de decisiones del RCM.....	75

ÍNDICE ANEXOS

Anexo 1.	Matriz de consistencia.....	96
Anexo 2.	Check List	96
Anexo 3.	Ficha técnica	97
Anexo 4.	Cuestionario Estructurado.....	97
Anexo 5.	Solicitud de Aplicación de instrumento	98
Anexo 6.	Matriz de constructo	99
Anexo 7.	Validación de instrumento por Experto 1.....	100
Anexo 8.	Validación de instrumento por Experto 2.....	100
Anexo 9.	Validación de instrumento por Experto 3.....	101
Anexo 10.	Validación de instrumento por Experto 4.....	101
Anexo 11.	Ficha de Validación por Juicio de Experto 1	102
Anexo 12.	Ficha de Validación por Juicio de Experto 2	102
Anexo 13.	Ficha de Validación por Juicio de Experto 3	103
Anexo 14.	Ficha de Validación por Juicio de Experto 4	103
Anexo 15.	Fichas técnicas	104
Anexo 16.	Lista de Verificación de Equipos	105
Anexo 17.	Tabulación de datos SPSS Statistics 27 Cuestionario estructurado	105
Anexo 18.	Resultados de Cuestionario Estructurado-Preguntas	106

LISTA DE ABREVIATURAS Y TABLA DE SÍMBOLOS

RCM = Mantenimiento centrado en la confiabilidad (Reliability Centered Maintenance)

AMFE= Análisis de modos y efectos de falla

RPN= Numero de prioridad de riesgo

MTBF= Tiempo medio entre fallas

MC= Mantenimiento correctivo

PdM= Mantenimiento Predictivo

RCFA= Análisis de causa Raíz de fallas

KPI= Indicador clave de desempeño

RAM= Fiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad

MTBM= Tiempo medio entre mantenimientos

TPM= Mantenimiento productivo total

RSL= Revisión sistemática de la Literatura

VD= Variable dependiente

VI= Variable independiente

“APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA LA MEJORA DE DISPONIBILIDAD OPERATIVA EN ECUSAL S.A, COMUNA MONTEVERDE-ECUADOR”

Autor: Tumbaco España Mario David

Tutor: Ing. Marco Bermeo García, Mgtr.

RESUMEN

En un contexto globalizado de las industrias, uno de los principales desafíos es poder asegurar la disponibilidad y la confiabilidad de los equipos para poder cumplir con la demanda y minimizar las paradas no planificadas, siendo de esta manera un gran impacto en los costos operativos y en la productividad. En este marco, el presente estudio demuestra la aplicación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad para la mejora de disponibilidad operativa en Ecuasal S.A, empresa ubicada en la comuna Monteverde-Ecuador. La investigación adoptó un enfoque mixto con un diseño metodológico transversal, descriptivo y correlacional, mediante la metodología del RCM como en sus primeros pasos permitieron diagnosticar la situación actual y el contexto operativo en el que se labora, y con ayuda de herramientas de análisis como de criticidad y AMFE. La eficacia de la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) como una herramienta clave para mejorar la gestión de mantenimiento en el área de lavado de sal, permitió diagnosticar el estado actual, identificar equipos críticos y establecer acciones mediante el análisis de criticidad y Análisis modal de fallas y Efectos. La propuesta técnica basada en confiabilidad operacional proyecta mejoras significativas: incremento del 24% en el tiempo medio entre fallas, reducción del 31% en el tiempo medio de reparación, y aumento de la disponibilidad operativa al 98.50%, evidenciando una gestión de mantenimiento más eficiente y sostenible.

Palabras Claves: *Mantenimiento centrado en la confiabilidad, AMFE, disponibilidad, criticidad.*

“APPLICATION OF THE MAINTENANCE METHODOLOGY CENTERED ON RELIABILITY FOR THE IMPROVEMENT OF OPERATIONAL AVAILABILITY IN ECUASAL S.A, COMMUNE MONTEVERDE-ECUADOR”

Author: Tumbaco España Mario David

Tutor: Ing. Marco Bermeo García, Mgtr.

ABSTRACT

In a globalized industrial context, one of the main challenges is ensuring equipment availability and reliability to meet demand and minimize unplanned downtime, which has a significant impact on operating costs and productivity. Within this framework, this study demonstrates the application of the reliability-centered maintenance methodology to improve operational availability at Ecuasal S.A., a company located in Monteverde, Ecuador. The research adopted a mixed approach with a cross-sectional, descriptive, and correlational methodological design, using the RCM methodology as its initial steps to diagnose the current situation and the operating context. It also used analytical tools such as criticality and FMEA. The effectiveness of the Reliability-Centered Maintenance (RCM) methodology as a key tool to improve maintenance management in the salt washing area allowed for the diagnosis of the current status, identification of critical equipment, and the establishment of actions through criticality analysis and Failure Mode and Effects Analysis. The technical proposal based on operational reliability projects significant improvements: a 24% increase in mean time between failures, a 31% reduction in mean repair time, and an increase in operational availability to 98.50%, demonstrating more efficient and sustainable maintenance management.

Keywords: *Reliability centered maintenance, AMFE, availability, criticality.*

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la gestión del mantenimiento en la industria ha evolucionado de ser una actividad correctiva a convertirse en un componente estratégico para garantizar la competitividad, productividad y la sostenibilidad de las organizaciones. La creciente necesidad de maximizar la disponibilidad de los equipos, reducir los costos operativos y asegurar la continuidad de los procesos productivos ha llevado a las empresas a adoptar metodologías como estrategias claves respecto a la optimización de recursos y la mejora del desempeño industrial. Enfocando sus esfuerzos al mantenimiento preventivo, como en el predictivo, permitiendo la reducción de fallas, la minimización de tiempos de inactividad y la optimización del uso de recursos, consolidándose enfoques esenciales en la gestión industrial cuyo título es “Analisis Perawatan Mesin Dengan Menggunakan Metode Reability Centered Maintenance dan Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis” [Análisis de mantenimiento de máquinas mediante el método de mantenimiento centrado en la confiabilidad y el análisis difuso de modos y efectos de fallas], evidenció que la implementación de la metodología mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), junto con el análisis modal de fallas y efecto (FMEA), facilitó la identificación de estrategias de mantenimiento óptimas. En este estudio se analizó el alto índice de inactividad en la prensa SEYI-110 Ton de la compañía PT. Padma Soode Indonesia demostró que el 77% de los errores críticos se encontraban en los elementos internos del equipo, lo que implica una reducción de hasta 8 horas de producción diaria (Ramadhan & Nurhidayat, 2022). Respecto a los hallazgos encontrados, se puede subrayar la relevancia que tiene al aplicar la metodología en estos contextos industriales, en el cual el estudio detallado de las averías internas es importante para la elaboración de las estrategias y acciones de mantenimiento eficientes que ayuden a aumentar la disponibilidad de las operaciones y a la vez se reduzcan las interrupciones no programadas.

De igual manera, en Perú se llevó a cabo una investigación titulada “Aplicación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de la máquina remalladora en una empresa textil”. En este estudio se logró incrementar la disponibilidad de la máquina de un 74,4% a un 92%, lo que representa un aumento del 18%. Para la ejecución del plan se realizó una inversión de 1800 soles, que concluyó la capacitación de los operarios. La implementación posibilitó disminuir considerablemente los periodos de parada y los gastos relacionados, incrementando la eficacia operacional del equipo y favoreciendo la mejora del

proceso empresarial (Uribe, 2020). Esta investigación apoya la relevancia de incorporar tanto las acciones técnicas como la formación del personal en los planes de mantenimiento, demostrando que una inversión moderada puede producir incrementos significativos en la disponibilidad y eficacia operativa, lo que resulta crucial para perfeccionar los procesos de producción y reducir las pérdidas de productividad.

También en Ecuador, el estudio realizado para Pacifetrol S.A., “Development of Reliability Centered Maintenance Plan RCM, through pulling operations to wells of a marginal oil field”, se puede deducir que el mantenimiento preventivo ayuda a la disminución del número de acciones correctivas debido al uso de la planificación cuando se establecen horarios que impacten de manera efectiva para la revisión y la reparación de los equipos que se encuentran basados en el registro e historial de fallas (Ramírez et al., 2021). Se afirma que la aplicación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad permite una gestión técnica más eficiente, reduce la criticidad de los activos y garantiza un desempeño óptimo de los pozos en el campo marginal en el sitio de estudio, demostrando que el impacto en la producción representó un 50% de la criticidad de las fallas, el de seguridad, del 30% y el impacto en la mantenibilidad alcanzó un 20%, donde se demostró la importancia de la necesidad de un enfoque proactivo en la programación del mantenimiento.

En la provincia de Santa Elena, la comuna Monteverde-Ecuador, la empresa Ecuasal S, A., cuyo objetivo principal es el aumento de la rentabilidad, la confiabilidad y la eficiencia, por medio de la integración de herramientas tales como AMEF y RCA, considerando de igual manera la criticidad de los equipos y condiciones operativas, ya que el RCM se presenta como una metodología estratégica para maximizar la eficiencia, la seguridad y la rentabilidad de los procesos (Cahyati et al., 2024).

Planteamiento del Problema

El problema general se formuló con la siguiente interrogante: **¿Cómo la propuesta de aplicación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad puede contribuir en la mejora significativa de la disponibilidad operativa de los equipos del área de lavado en la empresa Ecuasal S, A., comuna Monteverde-Ecuador?**

En la industria, en un contexto globalizado, uno de los principales desafíos es poder asegurar la disponibilidad y la confiabilidad de los equipos para poder cumplir con la demanda y minimizar las paradas no planificadas, teniendo de esta manera un gran impacto en los costos

operativos y en la productividad. Ya que la producción de sal enfrenta retos significativos en la actualidad, especialmente ante los efectos del cambio climático y sus implicaciones en la economía y sostenible regional (Domínguez & Rosales, 2024).

En un estudio realizado en América Latina, los cambios climáticos amenazan directamente la estabilidad y productividad de las operaciones salineras, debido a la variabilidad en los patrones de lluvia y las temperaturas extremas que afectan a la producción industrial (Alatorre, 2022). Los cambios en la frecuencia y patrones de lluvia aumentan la vulnerabilidad de las áreas productoras de sal y exigen la adaptación de los métodos de producción y manejo de recursos. Por ello, en este contexto, desarrollar estrategias de mitigación y adaptación, como la implementación de planes de mantenimiento y mejoras tecnológicas, resulta fundamental para preservar la sostenibilidad y competitividad de la industria salinera.

En las empresas de extracción y producción de sal en el Ecuador, se presentan desafíos específicos que afectan la disponibilidad, como también la eficiencia de los equipos debido a las condiciones adversas del entorno, siendo de esta manera la traducción de menor eficiencia operativa y el aumento de costo de mantenimiento correctivo, que afecta y disminuye la competitividad en el mercado local e internacional (Mejia & Ibaran, 2021). Se fundamentó por medio de un diagrama de Ishikawa, donde se presentan las distintas afectaciones presentes en el área de lavado.

Justificación

El estudio tiene como **justificación teórica** la teoría de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM); también aplica la teoría de sistemas para los procesos y las funciones de los equipos (Chavez et al., 2023). Como **justificación práctica**, porque contribuye a solucionar un problema relacionado con el mantenimiento centrado en la confiabilidad, permitiendo la conservación de los equipos productivos por medio de herramientas necesarias, cuyo resultado será cero paros de producción (Fuentes, 2023).

Posee **justificación metodológica** porque aporta un plan de mantenimiento preventivo diseñado para reducir los tiempos óseos de las máquinas, mediante metodologías, permitiendo gestionar de una manera eficiente las fallas potenciales que surgen en los equipos, promoviendo de tal manera un enfoque sostenible en la industria y fortaleciendo de cierta manera el compromiso con la sostenibilidad local (Zeng et al., 2021). Como también **justificación social**, porque

beneficia directamente a Ecuasal S. A. y a sus procesos de producción, generando optimización de las máquinas, y también a la comuna Monteverde y en el entorno empresarial.

Objetivos de la investigación

Objetivo general:

Proponer la aplicación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad que contribuya en la mejora significativa de la disponibilidad operativa de los equipos del área lavado en la empresa Ecuasal S. A., comuna Monteverde-Ecuador.

Objetivos específicos:

OE1: Desarrollar los sustentos teóricos sobre el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) y la Disponibilidad Operativa, mediante un estado del arte basado en una revisión sistemática de la literatura y un análisis bibliométrico, para el fundamento de las variables de estudio y los enfoques metodológicos.

OE2: Diseñar un marco metodológico fundamentado en estudios previos sobre el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), mediante metodologías, técnicas de recolección y análisis de datos, que permita la estructura de un modelo orientado a la implementación de la metodología.

OE3: Elaborar una propuesta técnica de mantenimiento basado en RCM que permita la mejora de la disponibilidad operativa de los equipos en el área de lavado, considerando la criticidad de los activos, modos de fallas y funciones requeridas.

Hipótesis general

H1: La propuesta de aplicación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) contribuye en la mejora significativa de la disponibilidad operativa de los equipos del área lavado en la empresa Ecuasal, comuna Monteverde-Ecuador.

HO: La propuesta de aplicación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) no contribuye en la mejora significativa de la disponibilidad operativa de los equipos del área lavado en la empresa Ecuasal, comuna Monteverde-Ecuador.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

Un estudio realizado por Mondragon, (2020), en Perú, denominado “Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad de la línea de producción en la empresa Gemar Group EIRL para disminuir sus utilidades no percibidas”, demostró que un plan de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad mejoró la gestión de la línea de producción en la empresa Gemar Group EIRL; la implementación de herramientas como análisis de criticidad, análisis de Weibull, el FMEA y la hoja de decisiones RCM permitió identificar los equipos críticos, identificar tiempos de mantenimiento y reducir significativamente las paradas no programadas. Como resultado, se logró aumentar la disponibilidad de los equipos al 83.21%, incrementar el OEE al 69,25% y reducir las utilidades no percibidas en más del 59%, evidenciando que la propuesta no solo mejora el desempeño operativo, sino que también resulta económicamente rentable para la empresa, con un VAN positivo, una TIR atractiva y un periodo de recuperación de inversión corto. Se evidenció que la puesta en marcha de un plan de mantenimiento preventivo fundamentado en la confiabilidad posibilitó aumentar la disponibilidad operativa, mejorar el OEE y reducir significativamente las utilidades no percibidas en la empresa, demostrando que la propuesta es técnica y económicamente viable.

Otro estudio realizado en Guayaquil por Herrera, (2022), titulado “Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para una industria química alimenticia en la ciudad de Guayaquil”, concluyó que la implementación del plan de mantenimiento preventivo en la industria química alimenticia permitió incrementar la disponibilidad operativa en un 4% (antes del plan 92%, después del plan 96%), mejorando la confiabilidad en un 7,7% (antes del plan 89,7%, después del plan 97,4%) y reduciendo significativamente las incidencias de fallas y tiempos de inactividad, fortaleciendo así la eficiencia en la productividad y disminuyendo las pérdidas operativas. Se concluyó que la implementación del plan de mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de equipos, la confiabilidad de equipos reduce significativamente fallas y optimiza la eficiencia productiva de las industrias.

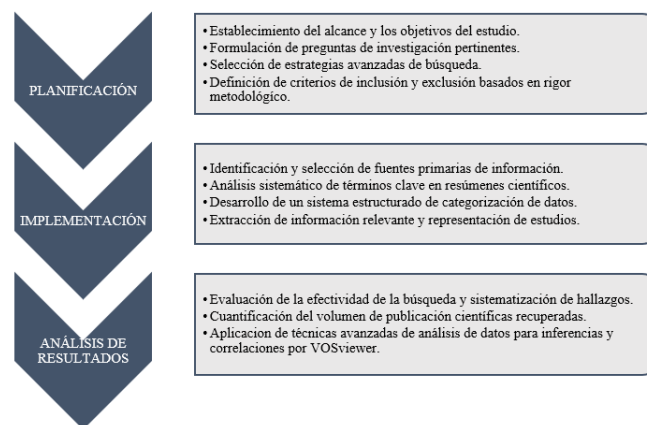
1.2 Estado del arte

De acuerdo con Vega, (2022), el estado del arte es un análisis documental que incluye establecer una base crítica tanto al nivel de comprensión del problema o como respecto a un fenómeno puntual que se incluye en el campo del conocimiento. Tiene como objetivo principal analizar de una manera sistemática el conocimiento que se adquiere dentro del área específica, de tal manera que se pueden identificar tendencias, vacíos y nuevas perspectivas, las cuales contribuyen a la formulación del problema de investigación; también contribuye a la estructuración de un marco teórico y la definición de las metodologías que son adecuadas para el desarrollo.

Por ello, el análisis bibliométrico se considera como una metodología que es imprescindible para la evaluación cuantitativa de la producción científica, ya que permite examinar tanto la evolución del conocimiento, de tal manera que nuestra investigación tiene como finalidad mostrar un panorama bibliométrico, en conjunto con una revisión sistemática de la literatura (RSL), respecto al mantenimiento centrado en la confiabilidad y la disponibilidad operativa en artículos académicos encontrados en los motores de búsqueda. Por siguiente, se usó la metodología del análisis bibliométrico, junto a la evaluación del mapeo sistemático; por ello, el protocolo se detallará en la Figura 1, junto a los reportes que se usarán los indicadores bibliométricos junto al software VOSviewer.

Figura 1.

Procedimiento revisión sistemática de la literatura



Nota: Elaborado por autor basado en (Rodríguez, 2024)

Se puede detallar en la Figura 1; las tres fases fundamentales, como son: i. Planificación, en la cual se detallan tanto los objetivos, los cuestionamientos tácticos de búsqueda, los criterios tanto de

exclusión como de inclusión. ii. Implementación, donde se incluye la identificación y la selección de las fuentes, también el análisis de los resúmenes, la categorización de los datos y la extracción de la información. iii. Análisis de resultados: se evalúa, se cuantifica las publicaciones y se aplican las técnicas avanzadas de análisis como la aplicación de VOSviewer.

Paso 1: Planificación

En el paso 1 se detallan los conceptos de una manera explícita y de manera formal sobre el tema que se trata; por ello, durante este paso se tomaron decisiones para realizar el estudio.

Establecimiento del alcance y los objetivos del estudio: La investigación se procedió con el objetivo de obtener una visión globalizada respecto a la metodología, de tal manera que ayuda a la identificación de las diferentes perspectivas que se encuentran relacionadas con el tema.

Formulación de preguntas de investigación pertinentes: Las preguntas se formulan respecto a los objetivos propuestos, que se tomarán como base de la formulación de este. Detalladas en la Tabla 1, donde se mencionan los objetivos propuestos.

Tabla 1.

Objetivos Propuestos

Numeración de objetivos	Objetivos
Objetivo 1	Establecer el nivel de atención manifestado por diversos investigadores en los últimos años en relación con las variables de estudio, a través de un proceso de categorización.
Objetivo 2	Compilar y analizar la información referente a las definiciones conceptuales, modelos teóricos, metodologías, enfoques analíticos, y procesos de validación respaldados por especialistas en la materia.

Nota: Elaborado por autor basado en (Rodríguez, 2024)

Por lo siguiente se detallan las preguntas de investigación en la Tabla 2, elaborada en base a los objetivos anteriormente expuestos.

Tabla 2.

Preguntas de investigación

Número de pregunta	Preguntas	Objetivo relacionado
Pregunta 1	¿Cuál es la distribución de los estudios relacionados con el mantenimiento centrado en la confiabilidad relacionada con la disponibilidad operativa?	Objetivo 1
Pregunta 2	¿Qué enfoques han sido propuestos como soluciones en este campo?	Objetivo 2
Pregunta 3	¿Qué técnicas se emplearon para la recopilación de datos en los estudios analizados?	Objetivo 2

Nota: Elaborado por autor basado en (Rodríguez, 2024)

Selección de estrategias avanzadas de búsqueda

Se emplea una estrategia de búsqueda en las bases de datos como: Scopus, Dimensions, Web of Science, las cuales han sido seleccionadas respecto a la capacidad de relacionar los documentos en las citas respecto a los distintos países. La cadena de búsqueda se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3.
Cadenas de búsqueda

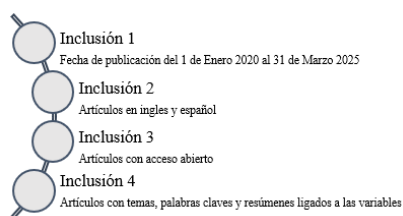
Base de datos web	Cadena de búsqueda
Scopus	(title-abs-key ("reliability centered maintenance" or "rcm") and title-abs-key ("availability" or "operational availability")) and pubyear > 2019 and pubyear < 2026 and (limit-to (subjarea, "engi")) and (limit-to (doctype, "ar")) and (limit-to (language, "english")) and (limit-to (oa, "all"))
Dimensions	("reliability centered maintenance" or "rcm") and ("operational availability" or "equipment availability")
Web of Science	"reliability centered maintenance" or "rcm" and "availability operational" or "availability"

Nota: Elaborado por autor basado en (Rodríguez, 2024)

Definición de criterios de inclusión y exclusión basados en rigor metodológico

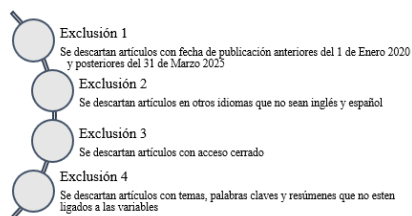
Los criterios que se han establecido se encuentran dirigidos al tiempo, el tipo de documento, el idioma y como es relevante, que se detallan en la Figura 2 y Figura 3. Por ello, la finalidad de examinar de una manera más profunda la importancia que correlaciona esta metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad para la mejora de la disponibilidad operativa; por ello, este estudio adopta un análisis bibliométrico, teniendo en cuenta los criterios de inclusión y exclusión.

Figura 2.
Criterios de inclusión



Nota: Elaborado por el autor

Figura 3.
Criterios de exclusión



Nota: Elaborado por el autor

En la Figura 2 y en la Figura 3 se detallan tanto los criterios de inclusión y exclusión, donde se contemplará la selección de artículos de acuerdo con la fecha de publicación, al idioma presentado, si se encuentran o no con libre acceso, y aquellos relacionados con las variables.

Paso 2: Implementación

Identificación y selección de fuentes primarias de información: Se empleó los motores de búsqueda mencionados anteriormente para realizar una búsqueda exhaustiva de los artículos, siguiendo un análisis de las palabras claves que se mencionan en los artículos que anteriormente se consideraron. Tomando en cuenta los criterios de exclusión e inclusión, se obtuvieron los siguientes datos, basados en la siguiente Tabla 4.

Tabla 4.

Aplicación de criterios en las herramientas de búsqueda

Base/Criterios	Artículos encontrados	Año 2020-2025	Área ingeniería	Formato artículo e idioma	Acceso abierto
Scopus	602	198	86	44	13
Dimensions	1909	582	306	160	104
Web of Science	450	167	167	144	79
				Total	196

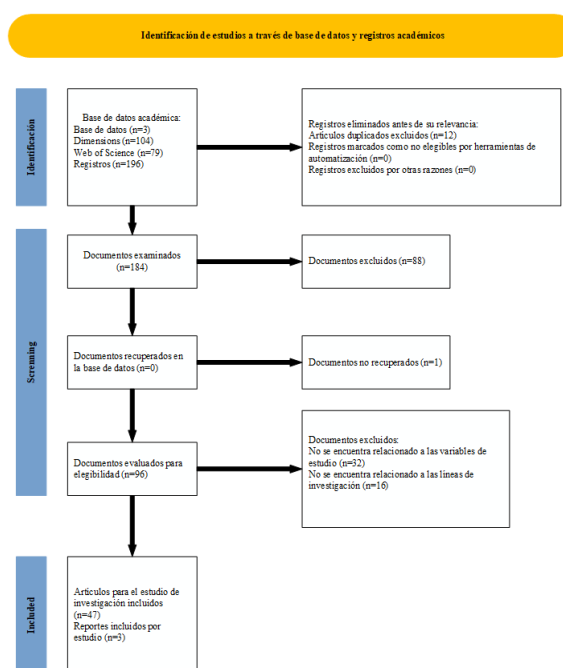
Nota: Elaborado por autor

En la tabla anterior se resume la cantidad de artículos encontrados en las tres bases de datos académicas: Scopus, Dimensions y Web of Science, donde se aplicaron diversos criterios de búsqueda. Estos criterios son el número total de artículos hallados; luego aplicando la exclusión, se redujo a la cantidad de artículos publicados entre el 2020 y 2025. Se volvió a aplicar la exclusión para llegar al número de artículos correspondientes al área de ingeniería, luego para la cantidad de artículos en formato de artículo y en el idioma establecido, para finalmente llegar a los que poseen acceso abierto. Obteniendo como resultado 196 artículos seleccionados al aplicar los criterios.

Se estructuró un diagrama de flujo Prisma 2020, ya que permite a los autores impulsar y mejorar los informes respecto a las revisiones sistemáticas. En la Figura 4, la extracción de datos en base a los criterios planteados, realizados con la metodología adecuada, que permite obtener una síntesis puntual y que sea confiable respecto a la información obtenida (Haddaway et al., 2022).

Figura 4.

Diagrama de flujo con recomendaciones de PRISMA 2020



Nota: Elaborado por autor

Con base en la Figura 4 planteada, el proceso de búsqueda inicial identificó un total de 196 artículos que abordaban temáticas asociadas a las variables. Durante este proceso, se excluyeron 88 registros que no cumplían con los requisitos metodológicos y 48 artículos, quienes se excluyeron por las líneas temáticas establecidas, siendo 32 por las variables de estudio y 16 por las líneas de investigación, definiendo la recopilación definitiva de análisis, y 1 artículo no encontrado. Como resultado final, se obtuvo una muestra de 47 artículos alineados con el objeto de estudio, los cuales constituyen la base documental de esta revisión y garantizan la rigurosidad científica, y la validez analítica dentro del marco investigativo que se propuso. Es importante mencionar que se agregaron 3 informes como reporte incluidos de estudio.

Análisis sistemático de términos clave en resúmenes científicos: Para realizar este análisis, se revisaron los resúmenes para confirmar la relación y la relevancia que tienen los artículos en base al mantenimiento centrado en la confiabilidad y la disponibilidad operativa, para después identificar cuáles eran las palabras claves y los conceptos que tengan correlación y contribuyan al tema como un enfoque para la investigación. La siguiente Tabla 5, nos muestra las líneas de investigación a tener en cuenta.

Desarrollo de un sistema estructurado de categorización de datos: Se especificaron las categorías para las preguntas de investigación con el propósito de sistematizar y clasificar los estudios que cumplen con los criterios que se han mencionado, facilitando su organización y análisis dentro del marco metodológico.

Tabla 5.

Propuestas de las líneas de investigación

Propuestas de las líneas de investigación	
Líneas	Plan de Mantenimiento preventivo
	Criticidad
	AMEF
	RCM
	Disponibilidad

Nota: Elaborado por autor basado en (Rodríguez, 2024)

Extracción de información relevante y representación de estudios

Cada artículo fue identificado con código único para garantizar una trazabilidad precisa dentro del proceso de documentación. Con el objetivo de optimizar esta fase, se recopilaron tanto los artículos seleccionados como sus metadatos correspondientes, permitiendo abordar de manera estructurada las preguntas de investigación. Para ello se empleó una matriz referencial, presentada en la Tabla 6.

Tabla 6.

Análisis de los artículos en base a las líneas de investigación propuestas

<i>Código</i>	<i>Autor/Año</i>	<i>Artículos</i>	<i>Enfoque</i>	<i>T. de recolección de datos</i>	<i>Oportunidad de sinergia</i>	<i>Variable</i>
<i>A1</i>	<i>(Gupta et al., 2020)</i>	<i>Análisis de disponibilidad operacional de generadores en centrales eléctricas con turbinas de vapor</i>	<i>Cuantitativa</i>	<i>Observación y entrevista</i>	<i>Aplicación conjunta de análisis de confiabilidad, y estrategias de mantenimiento para maximizar la disponibilidad y rentabilidad de los generadores en centrales eléctricas de turbinas de vapor.</i>	<i>Disponibilidad Operativa</i>
<i>A2</i>	<i>(Nurrahman & Atmaji, 2020)</i>	<i>Análisis de evaluación del rendimiento de máquinas UHF mediante métodos de análisis de confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad (RAMS)</i>	<i>Cuantitativa</i>	<i>Observación y registros</i>	<i>Integración de un sistema de mantenimiento predictivo para la mejora de los indicadores de rendimiento, a la vez reduce costos y aumenta la eficacia operativa.</i>	<i>Disponibilidad Operativa</i>
<i>A3</i>	<i>(Alhilman et al., 2020)</i>	<i>Aplicación basada en la web del método de confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y costo de la falta de confiabilidad para analizar el rendimiento de la máquina.</i>	<i>Cuantitativa</i>	<i>Observación y registros</i>	<i>Mejora de las condiciones operativas y la eficiencia de la máquina, así como en la implementación de estrategias de mantenimiento efectivas.</i>	<i>Disponibilidad operativa</i>
<i>A4</i>	<i>(Pinto et al., 2020)</i>	<i>Plan estratégico de implementación y mantenimiento de TPM: un estudio de caso</i>	<i>Cuantitativa</i>	<i>Manuales, registros y entrevista.</i>	<i>Integración de las actividades de mantenimiento autónomo y planificado con la participación de los trabajadores para mejorar la disponibilidad de las máquinas y fomentar la mejora continua.</i>	<i>Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) Disponibilidad operativa.</i>
<i>A5</i>	<i>(Zeng et al., 2020)</i>	<i>Estrategia de mantenimiento basada en análisis de confiabilidad y FMEA: un estudio de caso para cilindros hidráulicos de excavadoras tradicionales con ERRS</i>	<i>Cuantitativa</i>	<i>Registros, herramientas estadísticas (Excel)</i>	<i>Se sugiere una estrategia de mantenimiento basada en el análisis de confiabilidad y FMEA, que puede ser optimizada y aplicada a otros componentes mecánicos sensibles al costo en diversas industrias.</i>	<i>Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)</i>
<i>A6</i>	<i>(Martins et al., 2020)</i>	<i>Mejorando la gestión del mantenimiento preventivo en una empresa de soluciones energéticas</i>	<i>Mixta</i>	<i>Observación, registros y entrevistas</i>	<i>Al involucrar a los operadores de equipos en el mantenimiento autónomo y mejorar la planificación y ejecución del mantenimiento preventivo, se logra una mayor disponibilidad de los equipos y una reducción significativa de fallas.</i>	<i>Disponibilidad operativa Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)</i>

A7	(Yang et al., 2020)	Aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) al subsistema de muestreo en un sistema de monitoreo continuo de emisiones	Cuantitativa	Registros	Al optimizar las estrategias de mantenimiento en base a RCM con los sistemas de monitoreo continuo de emisiones (CEMS) mejora la fiabilidad del sistema y reduce los costos de mantenimiento.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)
A8	(Vera et al., 2020)	Mejoras de una base de datos de fallos para motores diésel marinos mediante el RCM y simulaciones	Mixta	Registro y observación	Se basa en la combinación del conocimiento experto con las simulaciones de fallos, permite mejorar la base de datos de fallos, proporcionando una herramienta más precisa y confiable para el diagnóstico de fallos en motores diésel marinos.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)
A9	(da Silva et al., 2020)	Formulación estratégica de mantenimiento industrial basado en la confiabilidad de equipos en una planta productora de azúcar y etanol	Cuantitativo	Registros y observación	Se sugiere extender la metodología propuesta al modelado estadística de los tiempos de reparación (TTR) y realizar análisis individuales de confiabilidad para cada equipo crítico de la línea de producción.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)
A10	(Ciani et al., 2021)	Mantenimiento basado en la condición del sistema HVAC en un tren de alta velocidad para la detección de fallos	Mixto	Registros	La integración de un enfoque basado en lógica difusa con el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). Esto permite una selección más precisa y menos subjetiva de las tareas de mantenimiento, mejorando la disponibilidad operativa del sistema HVAC.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)
A11	(Zeng et al., 2021)	Estudio sobre estrategias de mantenimiento preventivo de equipos de llenado basadas en el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad	Cuantitativo	Registros y observación	El uso de estrategias de mantenimiento basadas en el RCM permitió reducir significativamente los costos de mantenimiento y las horas de interrupciones no planificadas, mejorando la eficiencia operativa de la línea de producción de llenado de cerveza.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)
A12	(Ben et al., 2021)	Efecto del mantenimiento preventivo en la confiabilidad de las máquinas en una planta envasadora de bebidas	Cuantitativo	Registros, toma de datos	La aplicación de un equipo de mantenimiento autónomo que realiza actividades de mejora continua en los componentes principales de las máquinas en estado crítico, lo que reduce los tiempos de inactividad y mejora la fiabilidad de las máquinas.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)
A13	(Di Nardo et al., 2021)	Desarrollo e implementación de un algoritmo para el mantenimiento preventivo de máquinas	Cuantitativo	Registros y observación	La optimización del mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad operativa de la maquinaria y reducir los costos de no producción.	Disponibilidad operativa
A14	(Batelić et al., 2021)	Impacto del mantenimiento basado en remediación en la confiabilidad de una central eléctrica de carbón mediante redes de Petri estocásticas generalizadas	Cuantitativo	Registros y observación	La mejora de la confiabilidad y la disponibilidad de la planta por medio del uso de la estrategia de mantenimiento basada en remediación permite reducir los costos de mantenimiento y aumentar la eficiencia operativa de la planta.	Disponibilidad operativa
A15	(Sunday et al., 2021)	Evaluación de la gestión eficaz de operaciones de mantenimiento y confiabilidad: una revisión	Cualitativo	Revisión de literatura y análisis de casos	La integración de diferentes estrategias de mantenimiento ya sea (preventivo, predictivo, reactivo y centrado en la confiabilidad) para poder mejorar la eficiencia, así como la eficacia de las operaciones.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

A16	(Ivančan & Lisjak, 2021)	Nuevo enfoque de clasificación de riesgos FMEA que utiliza cuatro sistemas de lógica difusa	Mixto	Registro, entrevista y observación	La relación entre la lógica difusa y el análisis FMEA tradicional permite una mejor priorización de los riesgos y una asignación más eficiente respecto a los recursos para poder mitigar los riesgos.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)
A17	(Sielaff & Lucke, 2021)	Un enfoque para la selección de una estrategia de mantenimiento integrada considerando el contexto de la red de valor agregado	Mixto	Registros y revisiones de literatura	La combinación de estrategias de mantenimiento en los componentes relevantes del sistema de producción, optimizando los recursos y la disponibilidad del sistema en su conjunto.	Disponibilidad operativa
A18	(Nugraha et al., 2021)	Análisis de confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad de la máquina de unión de dedos Fu-King Furnimate en la industria de fabricación de madera	Cuantitativo	Registros, toma de datos	La unión de los métodos RAMS (Reliability, availability, maintainability, and safety) permite mejorar las estrategias de mantenimiento y a su vez reducir la frecuencia de fallos de las máquinas.	Disponibilidad operativa
A19	(Paoprasert et al., 2022)	Evaluación de la prioridad de riesgo de fallos en la máquina de apriete de tornillos de un sistema de producción de unidades de disco duro	Cuantitativo	Registros, manuales, hojas de trabajo	La aplicación de un plan de mantenimiento preventivo, así como correctivo, que esté basado en los resultados del análisis FMEA y RPN, permite mejorar la disponibilidad operativa y la confiabilidad de la máquina, reduciendo el tiempo de inactividad, así como los costos de mantenimiento.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)
A20	(García & Salgado, 2022)	Análisis de la influencia del tipo de componente y la condición de operación en la selección de la estrategia de mantenimiento preventivo en máquinas industriales multietapa: un estudio de caso	Cuantitativo	Registros y observación	La creación de una matriz multidimensional permitió elegir la estrategia óptima de mantenimiento preventivo para cada uno de los componentes, basada en las condiciones operativas, en el tipo de componente y en los tiempos individuales de mantenimiento.	Disponibilidad operativa
A21	(Fuadiya & Widjajati, 2022)	Análisis del rendimiento del molino SAG utilizando la efectividad general del equipo y el método de análisis de efectos (OEE) y modelos de fallas (FMEA)	Cuantitativo	Registro, entrevista y observación	La recomendación de aumentar el número de equipos para prolongar la vida útil de las máquinas, mejorar la eficiencia, acelerar la producción y reducir el tiempo de inactividad.	Disponibilidad operativa
A22	(Patil et al., 2022)	Desarrollo de un programa de mantenimiento optimizado para un sistema de caldera de vapor utilizando un enfoque de mantenimiento centrado en la confiabilidad	Mixto	Registro y opiniones	La aplicación del enfoque RCM permite aumentar la confiabilidad y disponibilidad del sistema de caldera en un 28,25% y 0,16%, respectivamente y reducir los costos de mantenimiento hasta un 20,32% anualmente.	Disponibilidad operativa Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)
A23	(R. F. da Silva et al., 2023)	Confiabilidad y mantenimiento centrado en el riesgo: un nuevo método para respaldar la gestión del mantenimiento	Mixto	Revisión de literatura	La integración del RCM y RBM permite una planificación del mantenimiento más efectiva al considerar tanto la confiabilidad como el riesgo, permitiendo desarrollar planes de mantenimiento orientados en la confiabilidad, riesgo y costo.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

A24	(Bazargur et al., 2023)	Estudio de confiabilidad de un sistema de comunicación: un caso de estudio de una mina subterránea	Cuantitativo	Registros y observación	La combinación del mantenimiento correctivo con el mantenimiento preventivo permite la mejora de la fiabilidad del sistema de comunicación.	Disponibilidad operativa
A25	(Ciula et al., 2023)	Análisis de la eficiencia y confiabilidad de la generación de energía de una unidad de cogeneración alimentada por biogás	Cuantitativo	Registros, mediciones y observaciones	La implementación de procedimientos correctivos y la supervisión constante pueden aumentar significativamente la producción de energía y reducir los tiempos de inactividad.	Disponibilidad operativa
A26	(de Oliveira & de Oliveira, 2023)	Estrategia de mantenimiento basada en la confiabilidad: estudio de caso de una empresa del sector eléctrico	Cuantitativo	Registros, entrevistas	La implementación de una estrategia de mantenimiento preventivo a intervalos predeterminados permite aumentar de una manera significativa la confiabilidad y disponibilidad de los equipos.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)
A27	(Olawale et al., 2023)	Desarrollo de una estrategia de gestión del mantenimiento basada en el mantenimiento centrado en la confiabilidad para instalaciones de producción marginal de yacimientos petrolíferos	Mixto	Entrevista, observación y registros	La integración CBM con capacidades de IA para analizar las tendencias de los datos de rendimiento del equipo e identificar cualquier desviación del resultado esperado.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)
A28	(Cabrera et al., 2023)	Un modelo de validación para la reducción del tiempo no contributivo basado en herramientas Lean: Caso de una empresa constructora en Perú	Mixto	Registros	El uso de las herramientas Lean para mejorar la eficiencia y la reducción del tiempo no contributivo, y la combinación de Kanban, 5S y TPM, permite la gestión más efectiva de los materiales, el mantenimiento de equipos y la organización del espacio de trabajo.	Disponibilidad operativa
A29	(Nganga et al., 2023)	Optimización del rendimiento de mantenimiento de subsistemas críticos en la sección de pre-molienda de cemento: un estudio de caso	Cuantitativo	Registros	EL uso de la integración de estrategias de mantenimiento preventivo, en conjunto con la gestión de la disponibilidad de los repuestos, a su vez mejorando la toma de decisiones en el mantenimiento y operación de la planta.	Disponibilidad operativa
A30	(Salawu et al., 2023)	Monitoreo de condición y evaluación de confiabilidad, una herramienta esencial para el mantenimiento de plantas de calderas - Una revisión	Cualitativo	Registros y revisión de literatura	La combinación de las técnicas de monitoreo de condiciones con estrategias de mantenimiento predictivo permitió una mejor planificación y ejecución del mantenimiento, lo que permitió reducir los tiempos de inactividad y mejorar la eficiencia operativa de las calderas.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)
A31	(Shannon et al., 2023)	Un marco de mantenimiento y confiabilidad productivo total para una planta de ingredientes farmacéuticos activos que utiliza el diseño para Lean Six Sigma	Mixto	Registro y entrevistas	La aplicación del TPM y el RCM permite mejorar la eficiencia operativa y la reducción de los tiempos de inactividad, gracias a la colaboración de los operadores en conjunto con el personal de mantenimiento, aplicando las técnicas de monitoreo y mantenimiento predictivo.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

A32	(Akpan & Nyauo, 2023)	Técnicas para mejorar la confiabilidad y disponibilidad de las centrales eléctricas de Nigeria	Cuantitativo	Registros	La ingeniería de confiabilidad en conjunto con los IDSS permitió la mejora proactiva en las prácticas de mantenimiento, en vez de la reactiva.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) Disponibilidad operativa
A33	(Gidiagba et al., 2023)	Garantizando la confiabilidad de las terminales de LNG: una revisión integral de la literatura sobre estrategias de mantenimiento centradas en la confiabilidad	Cualitativo	Revisión de literatura	Las estrategias RCM en conjunto con la IA/ML, permiten mejorar la fiabilidad y eficiencia de los terminales LNG.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)
A34	(Geisbush & Ariaratnam, 2023)	Prevención de fallos en tuberías de agua de gran diámetro mediante mantenimiento centrado en la fiabilidad	Cuantitativo	Registros y observación	La combinación de los mantenimientos, tanto preventivo, predictivo, basado en condiciones, aumentó la probabilidad de que las tuberías cumplan su función diseñada con un mínimo de mantenimiento.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)
A35	(Widotomo et al., 2024)	Mejora del análisis de estrategias de gestión de mantenimiento basadas en riesgos mediante el mantenimiento centrado en la confiabilidad. Caso práctico: Planta de trituración de carbón. Kalimantan Central, Indonesia.	Mixto	Registro y observación	El RCM con el análisis de riesgo en este caso permitió optimizar las decisiones de gestión de mantenimiento, de tal manera que mejoró la disponibilidad y confiabilidad del sistema de producción.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)
A36	(Chen et al., 2024)	Modelo basado en la confiabilidad para el mantenimiento preventivo de reemplazo incompleto de sistemas de energía fotovoltaica	Cuantitativo	Registros	El uso de la metodología RCM con otras técnicas de optimización y monitoreo de sistemas fotovoltaicos permitió mejorar la eficiencia operativa y reducir los costos de mantenimiento.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)
A37	(Daya & Lazakis, 2024)	Confiabilidad de sistemas y análisis basado en datos para la planificación y toma de decisiones en el mantenimiento de maquinaria marina	Mixto	Registros, toma de datos	La combinación del análisis de confiabilidad en conjunto con los métodos de aprendizaje automático permitió mejorar las estrategias de mantenimiento y reducir los fallos para mejorar la planificación y la toma de decisiones basada en datos.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) Disponibilidad operativa
A38	(He et al., 2024)	Análisis de los métodos de gestión de equipos para centrales de bombeo en el marco de los objetivos de "doble carbono"	Cuantitativo	Registros	La gestión de equipos en todas las etapas (planificación, diseño, fabricación e instalación, operación y mantenimiento) genera una gestión cohesiva y eficiente a lo largo de la vida del equipo.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)
A39	(Orellana et al., 2024)	Análisis de Mantenibilidad de Brazos de Carga Marinos de GNL Operados Remotamente Basado en la Norma UNE 151001	Mixto	Registros	El RCM, en conjunto con el análisis de mantenibilidad, permite una evaluación más completa y trazable de los niveles de mantenimiento y sus impactos en la disponibilidad operativa.	Disponibilidad Operativa

A40	(Okirie et al., 2024)	Comprender las desviaciones de las recomendaciones de mantenimiento de los fabricantes de equipos originales: razones, barreras y beneficios	Mixto	Registros, cuestionarios	La alineación de las prácticas de mantenimiento en base a las recomendaciones del OEM para poder mejorar la fiabilidad del equipo y a la vez reducir los riesgos operativos.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)
A41	(Rodriguez et al., 2024)	Mejora de los Planes de Mantenimiento Industrial mediante el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad Impulsado por la Asistencia y el Diseño de Razonamiento Basado en Casos	Mixto	Registros	La unión del RCM con CBR en conjunto con las técnicas de lógica difusa permite diseñar planes de mantenimiento más precisos y adaptados al contexto operativo real, mejorando la disponibilidad de la planta industrial.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)
A42	(Tripathi & Hari Prasad, 2024)	Optimización basada en RCM de estrategias de mantenimiento para motores diésel marinos mediante algoritmos genéticos	Mixto	Registros	La implementación de RCM y los algoritmos genéticos permite una mejora significativa en la disponibilidad del sistema.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)
A43	(Liu et al., 2024)	Optimización del mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad para equipos mecánicos de un solo componente	Cuantitativo	Registros, observación	La combinación de los modelos de optimización de mantenimiento preventivo para minimizar costos y maximizar la disponibilidad operativa.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)
A44	(Sagharidooz et al., 2024)	Optimización del mantenimiento basado en la evaluación de la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad en redes de transmisión de energía	Cuantitativo	Registros	La integración de los resultados del análisis RAM con la optimización de las políticas de mantenimiento usando MAUT permite equilibrar múltiples objetivos, como maximizar los indicadores RAM, mejorando el rendimiento.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)
A45	(Oskouei et al., 2024)	Identificación de componentes críticos para la confiabilidad del material rodante ferroviario: un estudio de caso para Irán	Cuantitativo	Registros, cuestionario	La optimización de los costos de mantenimiento mientras se mantiene la confiabilidad del sistema; por ello se identifican los componentes críticos para la confiabilidad del tren, lo que permite una gestión de mantenimiento más eficiente y rentable.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)
A46	(Dashtaki et al., 2025)	Desarrollo de un nuevo método para el análisis de mantenibilidad y tiempos de parada de maquinaria minera	Mixto	Registros y observación	La investigación sugiere que optimizar los procesos de mantenimiento y reducir los tiempos de inactividad puede aumentar significativamente la disponibilidad de las palas.	Disponibilidad operativa
A47	(Chundhoo et al., 2025)	Incorporación del riesgo en el modelo de mantenimiento productivo total	Cuantitativo	Registros y cuestionario	La integración del riesgo económico en el TPM, lo que permite a los responsables de la toma de decisiones comprender mejor las implicaciones financieras de los fallos, lo que permite tomar decisiones más informadas en la gestión de activos, poniendo como primero las actividades de mantenimiento y la mejora de la gestión de riesgos dentro del marco TPM.	Disponibilidad operativa

<i>A48</i>	<i>(Ordoñez et al., 2024)</i>	<i>Implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para mejorar la disponibilidad de los tractocamiones CL120 Freightliner en la empresa J&J Transportes y Soluciones Integrales S.A.C.</i>	<i>Cuantitativo</i>	<i>Registros y encuestas</i>	<i>El uso del RCM para mejorar la disponibilidad operativa de los tractocamiones, se logra al integrar distintas fases de planificación, análisis y supervisión, lo que permite una mejora continua en el sistema de mantenimiento.</i>	<i>Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) Disponibilidad operativa</i>
<i>A49</i>	<i>(González & Mago, 2024)</i>	<i>Plan de mantenimiento preventivo para equipos SKF Latin Trade SAS.</i>	<i>Cualitativo</i>	<i>Registro y entrevista</i>	<i>La implementación de normas ISO 14224 y ASTM para estandarizar el plan de mantenimiento y facilitar las tareas de los operarios, aumentando la capacidad de producción en la planta.</i>	<i>Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)</i>
<i>A50</i>	<i>(Campos et al., 2019)</i>	<i>Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos</i>	<i>Mixto</i>	<i>Registros y entrevista</i>	<i>Basado en normas SAEJA 1011 y SAEJA 1012.</i>	<i>Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)</i>

Nota: Elaborado por autor

En la Tabla 6, se presenta un análisis de las investigaciones realizadas en los últimos cinco años respecto al uso de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) usada en las diferentes industrias, y la disponibilidad operativa como refleja en la eficiencia de la industria. Por ello se refleja que, a lo largo de los años del 2020 al 2025, se muestra un aumento respecto al interés del uso de la metodología y los beneficios de esta, de tal manera que el estudio se refleja en dos variables para la industria.

Paso 3: Análisis de resultados

¿Cuál es la distribución de los estudios relacionados con el mantenimiento centrado en la confiabilidad relacionada con la disponibilidad operativa? Empleo de herramientas especializadas como VOSviewer para análisis bibliométrico

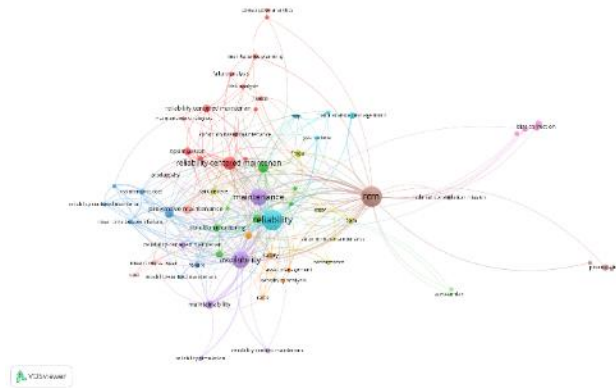
Mapa de red

Gracias a las herramientas de búsqueda como son: Scopus, Dimensions y Web of Science, se pudo determinar en base a los artículos encontrados que son: 602, 1909 y 450, respectivamente, en conjunto con la herramienta de VOSviewer, y RStudio, las cuales es una herramienta de análisis que permite procesar los artículos bibliográficos encontrados, diseñar y representar las similitudes que se tienen respecto al tema, ya que solo permite extraer ya sea los autores más citados, las palabras claves proporcionadas por los autores, y las tendencias que se ha tenido a lo largo de los años, debido al conjunto de los 3 motores de búsqueda utilizados y registrados en los software.

Por esta razón, se elabora un mapa de red de términos clave hallados en los estudios científicos y las variables asociadas utilizando los artículos escogidos de Scopus y WOS.

Figura 5.

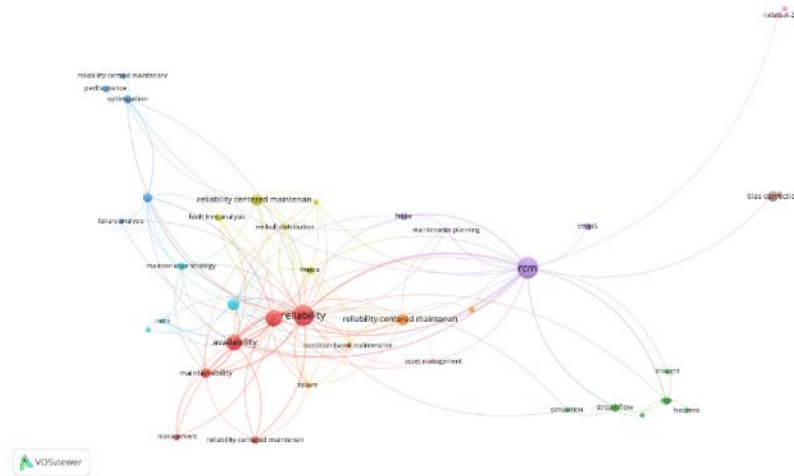
Palabras claves del motor de búsqueda Scopus (602 artículos)



Nota: Elaborado por autor

En la Figura 5 se detallan las palabras claves que en los artículos analizados mediante la herramienta VOSviewer, se identificaron varias palabras claves que destacan por su alta frecuencia y centralidad en la literatura científica sobre el mantenimiento, como se destaca el RCM (Reliability Centered Maintenance) que sobresale como la táctica más sobresaliente de tal manera que resalta como una estrategia eficaz respecto a la gestión de activos, otros términos de igual manera sobresalen como son el mantenimiento, la confiabilidad y la disponibilidad, los cuales se encuentran estrechamente relacionados entre sí ya que representan una perspectiva técnica direccionada a mantener la continuidad de los procesos operativos de los sistemas, adicionalmente se pueden reconocer acciones que son esenciales tales como: el mantenimiento preventivo y la mantenibilidad, los cuales robustecen los modelos de confiabilidad que actualmente se emplean en el sector industrial. Por otro lado, conceptos como *optimization*, *condition monitoring* y *failure* muestran una clara inclinación hacia decisiones basadas en datos y análisis de riesgos basados en herramientas como el *FMEA*. En conjunto, estos resultados evidencian un creciente interés por métodos de mantenimiento más proactivos y sostenibles, que aseguren el buen desempeño, la seguridad y la continuidad operativa de los activos industriales.

Figura 6.
Palabras claves del motor de búsqueda Web Of Science (450 artículos)



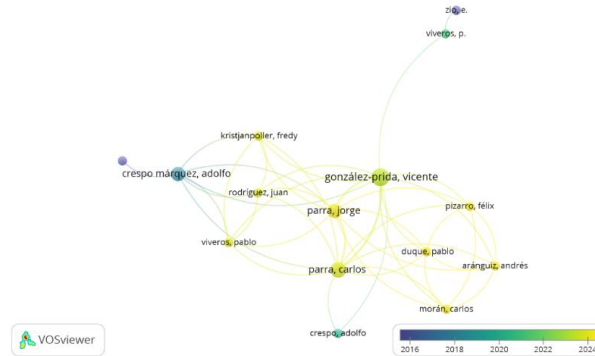
Nota: Elaborado por autor

En la Figura 6, la visualización generada con VOSviewer realizada con los 450 artículos seleccionados de Web of Science, vuelve a destacarse la presencia de términos claves dentro del ámbito del mantenimiento enfocado en la confiabilidad. En donde se muestra que el concepto de reliability es el más representativo, ya que deja claro su papel principal y central en los estudios técnicos que se encuentran relacionados en este campo, también aparecen otros términos importantes como son: availability y maintainability, quienes conforman la base principal de las estrategias actuales para la gestión de los activos. Es importante mencionar que la metodología sigue siendo un nodo destacado, y que se encuentra estrechamente ligado a conceptos como: los planes de mantenimiento, el análisis FMEA, la gestión de activos y el mantenimiento basado en condiciones, lo que demuestra una clara tendencia respecto a los enfoques tanto predictivos como a las decisiones sustentadas en el análisis de riesgo, de igual manera aparecen otros términos que están relacionada con las herramientas analíticas como son: el análisis de fallos, el análisis de árbol de fallos también la distribución Weibull, entre muchos otros, lo que demuestra un fuerte interés por las metodologías cuantitativas que ayuden a mejorar el rendimiento de los sistemas. Curiosamente, aparecen otros términos que posiblemente se encuentren vinculados a investigaciones en aplicaciones en el área ambiental, como son la corrección de sesgo, caudal y sequía, lo que demuestra una conexión con estudios respecto al cambio climático o la gestión de recursos hídricos.

Distribución de autores y países con Overlay Visualization

Figura 7.

Análisis del mapa de autores -coautoría, con evolución temporal (1909 artículos)

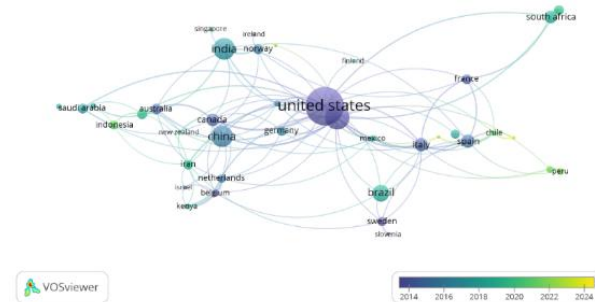


Nota: Elaborado por autor

En la Figura 7 anterior, la misma que esta, se basa en los 1909 artículos que fueron seleccionados de Dimensions, quienes demuestran una evolución clara hacia los autores más actuales y colaborativos que están centrados en los temas actuales en los años del 2022 al 2024. También es importante mencionar que autores como González y los Parra, quienes se destacan por su volumen y la producción científica actual, ellos demuestran una fuerte conectividad con otros investigadores donde se puede afirmar que existe una colaboración activa y que poseen una fuerte influencia en este campo ya que no solo se basan en su alto número de publicaciones. Por otro lado, autores como Crespo Márquez han aportado bases importantes para la investigación, pero sus publicaciones son de años anteriores (2016-2018) y ya no son el foco actual, lo que indica que su trabajo sigue siendo relevante.

Figura 8.

Análisis del mapa de países con evolución temporal (1909 artículos)



Nota: Elaborado por autor

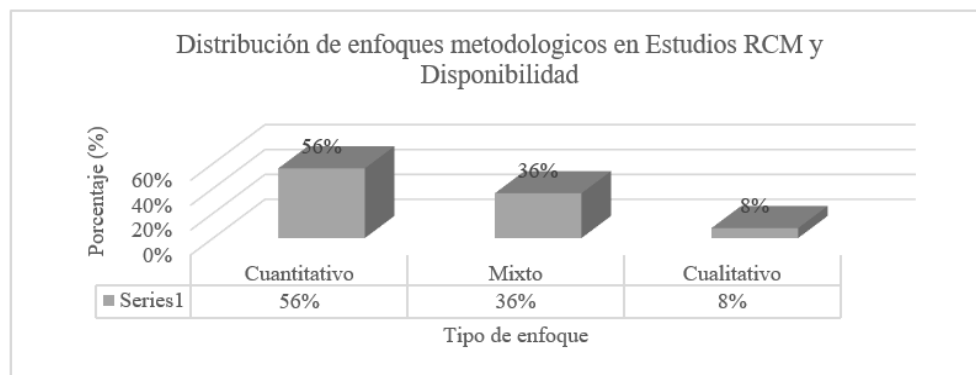
La Figura 8 muestra una evolución hacia países más recientes y colaborativos, respecto a temas más actuales del 2022-2024. Estados Unidos y China son líderes en producción científica, con Estados Unidos actuando como un punto de unión central en la red, también Alemania y Brasil de igual manera tienen una participación significativa, mostrando de tal manera una colaboración activa y regional.

¿Qué enfoques han sido propuestos como soluciones en este campo?

El estudio de los métodos utilizados en los estudios respecto al RCM y la disponibilidad operativa muestra las tendencias importantes en la forma en que se tratan los temas. De tal manera que la distribución de los enfoques dentro del conjunto de los 50 artículos seleccionados ofrece una perspectiva cuantitativa sobre las estrategias de investigación predominantes en este campo, las cuales se detallan en la Figura 9.

Figura 9.

Distribución de enfoques metodológicos



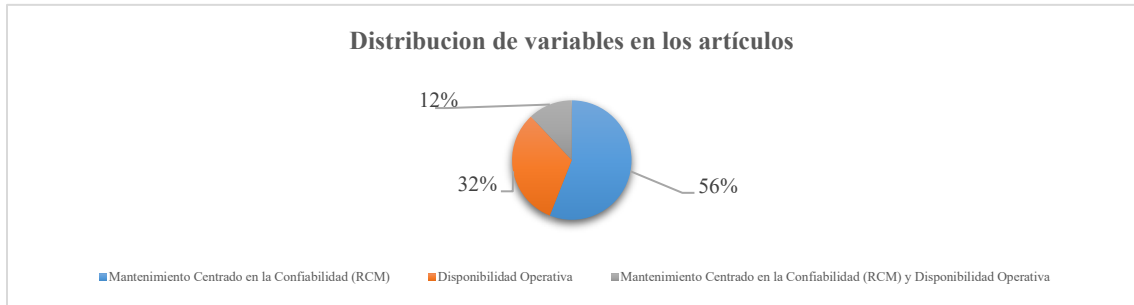
Nota: Elaborado por autor

En la Figura 9 se ilustra de una manera gráfica la distribución de los enfoques metodológicos por medio del gráfico de barras tridimensional, se visualiza claramente la predominancia del enfoque cuantitativo, representado por la barra más alta, con un 56%, siguiendo el enfoque mixto con un 36%; para finalmente, la barra más corta pertenece al enfoque cualitativo con un 8%.

La identificación de la variable central del estudio en cada uno de los artículos seleccionados es un paso metodológico, ya que esta clasificación permite comprender el enfoque principal de la investigación, de tal manera que facilita el análisis de las tendencias en la literatura. Por ello, en la Figura 10 se presenta la distribución del uso de las variables en los artículos seleccionados.

Figura 10.

Distribución de variables de artículos



Nota: Elaborado por autor

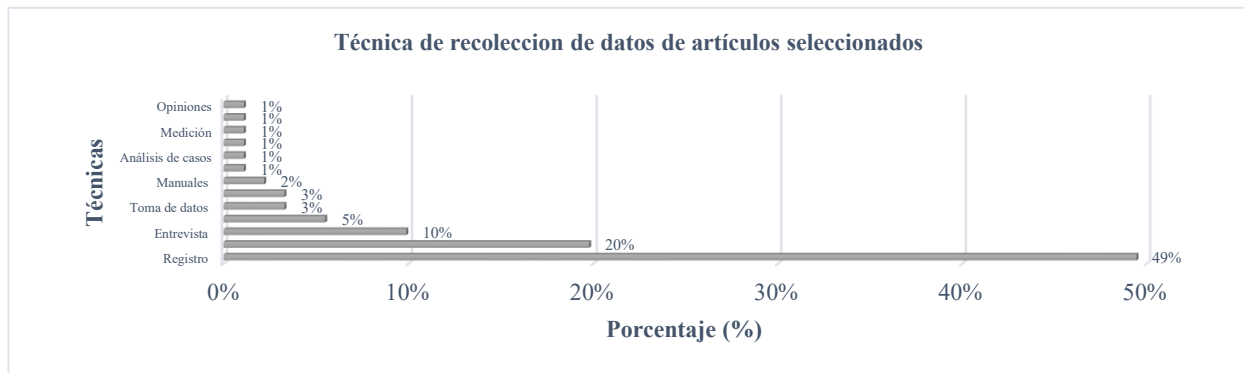
La Figura 10 presenta un gráfico circular que ilustra visualmente la proporción del uso de cada variable en los artículos seleccionados. La porción más grande, representando el 56%, está coloreada de color azul, siendo la variable del RCM; la sección naranja, con un 32%, indica la proporción de los artículos centrados en la disponibilidad operativa y finalmente, la porción gris con un 12% representa los artículos que integran tanto el RCM como la disponibilidad operativa.

¿Qué técnicas se emplearon para la recopilación de datos en los estudios analizados?

La rigurosidad de cualquier investigación científica radica en las técnicas empleadas para la obtención de datos; en este contexto, las diversas técnicas son utilizadas para recopilar la información necesaria. La Figura 11 que se presenta a continuación ofrece una visión detallada respecto a la distribución de técnicas de recolección de datos identificadas en el conjunto de artículos seleccionados para esta revisión, proporcionando una perspectiva respecto a las técnicas de investigación más comunes en este campo.

Figura 11.

Gráfico de barras de técnicas de recolección de datos



Nota: Elaborado por autor

En la Figura 11, se ilustra gráficamente la distribución de las técnicas de recolección de datos; la barra más extensa, representando el 49%, corresponde a los registros, lo que visualmente subraya su predominancia. Le siguen en longitud las barras de observación con un 20% y la entrevista con un 10%, y el cuestionario con un 3% evidencia su significativa utilización.

1.3 Fundamentos teóricos

Mantenimiento industrial: El concepto de mantenimiento es fundamental en las industrias, ya que asegura la operatividad como también la seguridad de los equipos; por ello Selvik et al., (2020); afirma que el mantenimiento se define como la “Combinación de todas las acciones técnicas y de gestión destinadas a mantener un artículo o restaurarlo a un estado en el que pueda funcionar según lo requerido”, de tal manera que se destacada la importancia de las acciones, ya sean técnicas como también de gestión, para poder garantizar que los equipos y maquinaria funcionen de cierta manera que sea óptima y segura.

Teoría de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM): Según la normativa, esta metodología es un enfoque de mantenimiento que se centra en asegurar que los equipos y sistemas funcionen de manera confiable y segura. Este método fue desarrollado originalmente para la industria de la aviación comercial, con el objetivo de mejorar la seguridad y la confiabilidad de los aviones. Esta implementación trae beneficios tales como la mejora de la seguridad, el aumento de la confiabilidad, la optimización de los costos, la eficiencia operacional, el cumplimiento normativo y la prolongación de la vida útil (SAE, 2024).

Todo procedimiento para el desarrollo de esta metodología debe responder a 7 preguntas, es importante que se siga un orden que plantea la norma SAE JAA 1011. Las preguntas son las siguientes:

- ¿Cuáles son las funciones deseadas para el equipo que se está analizando?
- ¿Cuáles son los estados de falla (fallas funcionales) asociados con estas funciones?
- ¿Cuáles son las posibles causas de cada uno de estos estados de falla?
- ¿Cuáles son los efectos de cada una de estas fallas?
- ¿Cuál es la consecuencia de cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir esa falla?
- ¿Qué hacer si no puede encontrarse una tarea predictiva o preventiva adecuada?

Es importante mencionar que la **teoría de sistema en gestión de procesos** permite comprender que toda organización es un sistema compuesto por subsistemas interrelacionados que trabajan de una manera coordinada. En el ámbito productivo, cada equipo o maquinaria no se debe considerar como un ente aislado, sino como un componente funcional dentro del sistema de procesos, donde una falla en una parte puede afectar la totalidad del área (García et al., 2022).

Análisis de modo de fallas y efectos (AMEF): Es una herramienta utilizada en el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para identificar y evaluar los modos de falla de los componentes de un equipo o sistema. Este análisis permite determinar las consecuencias y la frecuencia de las fallas, priorizando de tal manera las consecuencias y la frecuencia de las fallas, priorizando las actividades de mantenimiento necesarias para reducir el impacto económico y mejorar la confiabilidad operacional (Andrade & Herrera, 2021).

AMEF de Diseño (DFMEA): Se aplica durante las fases iniciales de diseño de un producto, servicio o sistema, o en modificaciones significativas del mismo. Su objetivo es detectar riesgos potenciales que puedan comprometer el rendimiento, seguridad o cumplimiento de requisitos técnicos y normativos desde la etapa de concepción (Mosquera, 2022).

Elaboración del Análisis del Modo y Efectos de Fallas

Descripción de equipo: Establecer el equipo o sistema a analizar, describiendo el equipo, el funcionamiento, abarcando todos los componentes que se encuentran en cada una de las fases del mismo (Mosquera, 2022).

Identificación de componentes y función: Se elabora una matriz técnica de los componentes que conforman el sistema. Para cada componente se define su función principal dentro del conjunto, permitiendo una comprensión clara de su rol operativo (Mosquera, 2022).

Detección de modos de falla potenciales: En esta fase se identifican los modos que ya han ocurrido, o bien aquellos que podrían manifestarse. En caso de no estar documentados previamente, se procede a su registro. Un modo de fallas se refiere a cualquier situación donde un componente, proceso o sistema no satisface sus especificaciones o requisitos preestablecidos (Mosquera, 2022).

Evaluación de los efectos: Para cada modo de falla identificado, se establece el impacto que puede producir, donde se ha de tener en cuenta tanto el efecto en el cliente como en las fases subsiguientes del proceso. Esta evaluación facilita la priorización de las medidas correctivas en función del grado del impacto (Mosquera, 2022).

Calificación de la severidad: La severidad, o gravedad, se cuantifica comúnmente en una escala de 1 a 10, donde 1 representa un impacto insignificante y 10 un efecto catastrófico. Si un modo de fallas genera múltiples efectos, se debe considerar el de mayor severidad para su valoración. En la Tabla 7 se muestra la calificación de la severidad.

Tabla 7.

Calificación de la severidad

Severidad o gravedad	Criterio	Calificación
Muy baja	Se trata de una falla de impacto insignificante, sin efectos perceptibles en el rendimiento del sistema.	1
Baja	La falla genera una molestia menor. Aunque puede haber una ligera reducción en el desempeño del sistema, esta no representa un problema significativo y se puede corregir fácilmente.	2-3
Moderada	Se experimenta una disminución notoria en la funcionalidad del sistema, generando cierto nivel de insatisfacción. El defecto empieza a impactar negativamente la experiencia del usuario.	4-6
Alta	La falla puede comprometer seriamente el funcionamiento del sistema, llegando incluso a dejarlo fuera de servicio. El nivel de insatisfacción del cliente es considerable.	7-8
Muy alta	Es una falla crítica que compone funciones de seguridad o conlleva violaciones graves de normativas legales o técnicas. En estos casos extremos, la evaluación debe asignar un valor de 10.	9-10

Nota: Elaborado por autor basado en (Mosquera, 2022)

Determinación de causas posibles: Una vez que se hayan reconocido los patrones de los fallos, es importante examinar las causas que los provocan. Este estudio tiene como objetivo determinar las circunstancias o elementos que provocan la aparición de las posibles fallas (Mosquera, 2022).

Calificación de ocurrencia: Esta calificación permite priorizar las causas más críticas en función de su frecuencia, y es clave para la asignación de recursos en planes de mantenimiento y mejora. En la Tabla 8 se muestra la calificación de la ocurrencia.

Tabla 8.

Calificación de ocurrencia

Ocurrencia	Criterio	Calificación
Muy baja	El modo de falla no ha sido registrado anteriormente en procesos similares, aunque su ocurrencia podría considerarse teóricamente posible. No existen antecedentes que indiquen una manifestación práctica del fallo.	1
Baja	Existe evidencia de fallas aisladas en procesos comparables o prácticamente equivalentes. Aunque poco probable, se reconoce como una posibilidad razonable a lo largo del ciclo de vida del sistema.	2-3
Moderada	El defecto se ha observado ocasionalmente en procesos anteriores o similares. Se espera que, aunque de forma esporádica, el modo de falla pueda manifestarse en determinadas circunstancias operativas.	4-6
Alta	El fallo ha ocurrido de manera repetitiva en procesos similares previos. Su recurrencia es significativa, por lo que es razonable anticipar su aparición con cierta frecuencia durante la operación del sistema.	7-8
Muy alta	La falla se presenta de manera casi inevitable. Existen múltiples antecedentes documentados en procesos anteriores, lo que indica una alta probabilidad de ocurrencia si no se implementan medidas correctivas efectivas.	9-10

Nota: Elaborado por autor basado en (Mosquera, 2022)

Identificación de controles: Una vez determinadas las causas de los modos de fallas, el siguiente paso consiste en identificar los controles actualmente implementados en el proceso o sistema, o aquellos que se puedan identificar (Mosquera, 2022).

Calificación de detección: Cada control identificado es evaluado con base para detectar el modo de falla o su causa antes de que se manifieste ante el cliente. En la Tabla 9 se muestra la calificación de la detección.

Tabla 9.

Calificación de detección

DetECCIÓN	Criterio	Calificación
Muy alta	El defecto es evidente y fácilmente perceptible. Es altamente improbable que no sea identificado por los controles existentes.	1
Alta	Aunque el defecto es claro y generalmente se detecta con facilidad, existe una baja probabilidad de que se escape de controles iniciales, aunque terminaría siendo identificado en etapas posteriores del proceso.	2-3
Moderada	El fallo es potencialmente detectable, aunque podría no ser identificado de forma inmediata. Generalmente, se reconoce en fases finales.	4-6
Baja	La naturaleza del defecto dificulta su detección mediante los métodos de inspección actuales. Existe una probabilidad significativa de que el fallo no sea identificado a tiempo.	7-8
Muy Baja	El defecto no puede ser detectado con los controles disponibles.	9-10

Nota: Elaborado por autor basado en (Mosquera, 2022)

Cálculo del Número de Prioridad de Riesgo (NPR): El número de Prioridad de Riesgo (NPR) es un indicador cuantitativo utilizado para jerarquizar los modos de fallas según la criticidad. Se determina mediante el producto de tres factores fundamentales:

$$NPR = Severidad \times Ocurrencia \times Detectabilidad$$

Prioridad de NPR: En la siguiente Tabla 10 se detallan los estados de riesgo a considerar respecto a los cálculos de cada modo de falla, representados por 3 niveles, y cada nivel representado por un color. Donde se deben atacar los problemas con NPR alto.

Tabla 10.

Prioridad de NPR

Intervalos (NPR)	Criterios
251-1000	Riesgo Alto
63-250	Riesgo Moderado
1-62	Riesgo Bajo

Nota: Elaborado por autor, en base a criterios establecidos por autor.

Función de un activo: La función de un activo se define como la capacidad técnica que posee un sistema o equipo específico que debe cumplir dentro del contexto operacional, frente a las condiciones normales de servicio (Castro, 2020).

Falla funcional: La falla funcional implica la incapacidad de un equipo de realizar de manera completa o parcial las funciones requeridas, aun estando el equipo en funcionamiento (Uribe Muñoz, 2023).

Modo de falla: El modo de falla se define como el mecanismo específico o condición por la cual un activo deja de cumplir sus funciones pertinentes (Solano & Parra, 2021).

Análisis funcional: Se refiere al proceso estructurado que identifica las funciones de los equipos, también las fallas funcionales y los modos de las fallas relacionadas. Es esencial en el enfoque del mantenimiento centrado en la confiabilidad, ya que permite transformar el conocimiento técnico en las decisiones estratégicas para poder determinar el desempeño dentro del sistema.

Teoría de gestión de riesgo (Matriz de criticidad): La matriz permite identificar los equipos más críticos de los sistemas, así como los que las fallas generarían consecuencias significativas. Es importante mencionar que facilita la toma de decisiones al priorizar las intervenciones como el mantenimiento preventivo, en la gestión de los repuestos, en la planificación de las paradas programadas o también en la formación del personal (Donoso et al., 2023).

Análisis de criticidad: El análisis de criticidad se define como una metodología técnica empleada para jerarquizar los sistemas, equipos o instalaciones respecto al impacto general que mantienen sobre la operación, en la seguridad, en el ambiente y en los costos (Solano & Parra, 2021).

La evaluación se basa en una adaptación de los criterios propuestos por Benel, (2020). En la Tabla 11 se muestra la matriz de criterios para evaluar la criticidad de los equipos industriales, asignando puntajes a factores claves, como ya lo mencionamos anteriormente (Benel, 2020).

Tabla 11.

Criterios con los respectivos puntajes de cada escala

Criterios	Puntajes	Criterios	Puntajes
A. Nivel de uso de la Maquinaria		G. Impacto Ambiental	
> de 4 horas por día	1	Contaminación ambiental baja	5
Entre 5 y 8 horas por día	2	Contaminación ambiental moderada	10
Entre 9 y 12 horas por día	3	Contaminación ambiental alta (incumplimientos de normas)	25
Entre 13 y 16 horas por día	4	No origina ningún impacto ambiental	0
Entre 17 y 24 horas por día	5		
B. Frecuencia de Falla (Todo tipo de falla)		H. Impacto de salud y seguridad de personal	
< de 1 por año	1	No origina herida ni lesiones	0
Entre 2 y 15 por año	2	Puede ocasionar lesiones o heridas no incapacitantes	5
Entre 16 y 30 por año	3	Puede ocasionar lesiones o heridas graves con incapacidad temporal	10
Entre 31 y 50 por año	4	Puede ocasionar lesiones con incapacidad permanente	25
> de 50 por año	5		
C. Tiempo promedio para reparar (MTTR)		I. Impacto en la calidad del producto final	
< de 4 horas	1	No hay pérdida	0
Entre 4 y 8 horas	2	100 – 500 USD	5
Entre 8 y 24 horas	3	500 – 1000 USD	10

Entre 24 y 48 horas	4	> 1000 USD	25
> de 48 horas	5		
D. Impacto sobre la producción		J. Asistencia técnica	
No afecta a la producción	0,05	Si existe	1
25% de impacto	0,25	Regular	2
50% de impacto	0,5	Escasa	3
75% de impacto	0,75	No existe	4
100 % de impacto	1		
E. Dependencia logística con respecto a los repuestos		K. Reemplazo de equipos/accesorios	
Stock Propio	1	Si existe	1
Local	2	Regular	2
Departamental	3	Escasa	3
Nacional	4	No existe	4
Extranjero	5		

Nota: Elaborado por autor basado en (Benel, 2020)

Mantenimiento Productivo Total (TPM): Según Moreira, (2022), el TPM constituye un enfoque estratégico que busca transformar la gestión del mantenimiento dentro de las organizaciones industriales esta se descompone en tres dimensiones: i. Mantenimiento, orienta el desarrollo de los sistemas técnicos que están enfocados en la mejora continua de los equipos. ii. Productivo, vincula el mantenimiento a la eficiencia operativa de los procesos. iii. Total, involucra de forma integral todos los niveles de la organización.

Indicadores de gestión de mantenimiento: La evaluación de los indicadores permite establecer, analizar y proyectar el desempeño de los factores clave de la efectividad del mantenimiento; por medio de métricas técnicas y económicas, será posible medir de manera objetiva dicha efectividad.

MTBF (Mean Time Between Failures): Este parámetro, tiempo medio entre fallas, representa el intervalo promedio de operación que ocurre entre una falla y la siguiente en un equipo que sea reparable. El cálculo se basa en la diferencia entre el tiempo total de operación efectiva del activo (T_o) y el tiempo relacionado a las paradas no programadas (T_{np}), dividido entre el número total de las fallas que se registraron (C_f) durante el periodo establecido. Se expresa de la siguiente manera:

$$MTBF = \frac{T_o - T_{np}}{C_f}$$

Este indicador es esencial para evaluar la confiabilidad operativa de los equipos, ya que estima la frecuencia con la que se presentan fallas y en consecuencia, la planificación de las estrategias de mantenimiento más eficaces (Markic, 2024).

MTTR (Mean Time to Repair): El tiempo medio para la reparación es un indicador de mantenibilidad que está definido como la relación entre el tiempo total dedicado a las

intervenciones correctivas para restituir el servicio de un equipo (T_{tr}) con el número total de las reparaciones (C_r). Se expresa de la siguiente manera:

$$MTTR: \frac{T_{tr}}{C_r}$$

Disponibilidad operacional (Operational Availability): Según Pachao, (2022), la disponibilidad es el parámetro fundamental que se encuentra relacionado con el mantenimiento, ya que este limita la capacidad de la producción por ello se define como disponibilidad a la “probabilidad de que una máquina esté preparada para producción en un período de tiempo determinado, o sea que no esté parada por averías o ajustes”.

$$D = \frac{TPEF}{TPEF + TPPR} \text{ Ecuaci3n 1}$$

Donde:

- **TPEF:** Tiempo promedio entre fallos: Media de tiempo entre fallos reparables de un producto.
- **TPPR:** Tiempo promedio de reparaci3n: Tiempo promedio que tarda en repararse un equipo.

Tipos de mantenimiento: La norma ISO 14224 define que el mantenimiento es la “combinaci3n de todas las acciones t3cnicas y de gesti3n que tienen la intenci3n de retener un ítem, restaurarlo a un estado en que pueda realizar lo requerido” (ISO, 2016). Tambi3n se mencionan los diferentes tipos de mantenimiento, como menciona, tales como:

- **Mantenimiento correctivo:** Se realiza cuando ya se ha producido una falla, por lo que no requiere planificaci3n previa y se aplica de una manera pr3ctica en el momento que los equipos presentan una falla (ISO, 2016).
- **Mantenimiento preventivo:** Se lleva a cabo con la finalidad de disminuir las acciones correctivas mediante actividades regulares de supervisi3n y reemplazo de elementos deteriorados (ISO, 2016).
- **Mantenimiento predictivo:** En funci3n de la condici3n de los equipos, supervisa su estado para reemplazar componentes antes de que se deterioren, detectando problemas antes de su aparici3n, disminuyendo los periodos de reparaci3n y de manera que reduce la necesidad de grandes reservas (ISO, 2016).

CAPÍTULO II

MARCO METODOLÓGICO

2.1 Enfoque de la investigación

El enfoque que se ha utilizado en la investigación es el enfoque **mixto**, combinando tanto las herramientas cuantitativas como cualitativas para poder obtener una visión integral (Hernández & Mendoza, 2018). Según Cueva et al., (2023), este enfoque permite combinar los análisis estadísticos de datos numéricos con la interpretación contextual de las experiencias y las percepciones de los involucrados, facilitando de tal manera la triangulación de la información y fortaleciendo a su vez la validez de los resultados obtenidos.

2.2 Tipo y diseño de la investigación

El tipo de investigación utilizada fue la aplicada. Este tipo de investigación busca resolver problemas prácticos (Hernández & Mendoza, 2020). Se ha seleccionado este tipo de investigación, ya que busca resolver un problema específico relacionado con la baja disponibilidad operativa de los equipos del área de lavado Ecuasal S. A., mediante proponer una metodología técnica RCM. Esta investigación tiene como finalidad generar una propuesta concreta para la eficiencia de mantenimiento industrial en un contexto real.

En cuanto al diseño de investigación, se adoptó un enfoque **no experimental** y de **tipo transversal**. El diseño no experimental es un tipo de estudio en el cual el investigador no manipula deliberadamente las variables independientes, sino que observa y analiza los fenómenos tal como ocurren en su contexto natural. “Las variables se observan tal como se dan en su contexto para después analizarlas” (Hernández & Mendoza, 2020). Se eligió este tipo de diseño porque se observó y analizó los efectos de la aplicación del RCM sin manipular deliberadamente las variables, recogiendo los datos en un solo momento del tiempo. Este diseño permite evaluar la situación actual, diseñar el modelo propuesto y medir su efecto en la disponibilidad operativa.

Diseño transversal: Este procedimiento recolecta y examina los datos en un tiempo determinado, sin llevar a cabo un seguimiento extendido. Su meta es describir o evaluar variables, además de analizar las relaciones entre ellas, en una población determinada durante un periodo de tiempo

específico. Resulta beneficioso para analizar circunstancias presentes, identificar patrones o correlaciones y tomar decisiones a corto plazo (Hernández & Mendoza, 2020).

Diseño descriptivo: Este método nos permite tanto documentar y poder examinar de una manera detallada el funcionamiento actual de todos los equipos de esta área, identificar de igual manera que clases de averías son más comunes y en cuánto tiempo se destina para las reparaciones (Hernández & Mendoza, 2020). Es importante mencionar que esta información nos permite comprender de manera más efectiva cómo los fallos que se ocasionan impactan en el proceso de producción y qué posibilidades de mejora existen.

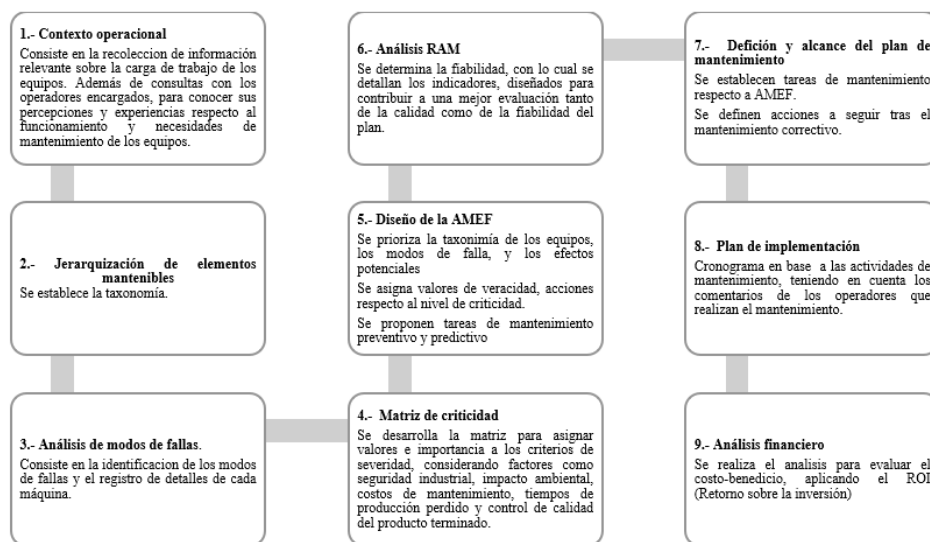
Diseño correlacional: Se emplearán herramientas estadísticas para poder examinar la información y poder encontrar los vínculos que existe entre las variables de estudio (Hernández & Mendoza, 2020). En otras palabras, se analizará si la aplicación del RCM ejerce un impacto positivo en indicadores esenciales como la disponibilidad de los equipos.

2.3 Procedimiento metodológico

El procedimiento metodológico adaptado a este estudio se encuentra basado respecto a los lineamientos establecidos en la norma **SAE JA1011**, y adaptado en base al artículo de González & Mago, (2024) donde se evidencia una buena implementación y detallando los pasos de la metodología, por lo que el procedimiento usado se muestra en la Figura 12:

Figura 12.

Fases de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad



Nota: Elaborado por autor basado (González & Mago, 2024)

La Figura 12 anterior se describe de una manera clara y también ordenada el método paso a paso: primero, se recopilan datos del entorno operativo, considerando tanto la carga de trabajo de los equipos como la experiencia del personal técnico, segundo se clasifican los elementos bajo una taxonomía bien definida, seguidamente se realiza un pre análisis de modos de fallas para identificar los posibles riesgos, para luego con la matriz de criticidad priorizar los equipos según su impacto del fallo, para después realizar un análisis a profundidad de AMEF para determinar los efectos y establecer valores de severidad, ocurrencia y detectabilidad, para finalmente realizar el estudio RAM que evalúa el desempeño de los equipos, asegurando de tal manera que el mantenimiento se enfoque en los aspectos considerados más críticos para poder optimizar la operación, y una vez que se haya completado este análisis, se realiza la definición y también el alcance el plan de mantenimiento donde se establecen las tareas preventivas y acciones correctivas específicas. Luego, se elabora un plan de implementación, cronogramando las actividades y considerando el criterio del personal operativo. Este enfoque integral garantiza una gestión técnica eficiente, orientada a mejorar la confiabilidad operativa y optimizar los recursos de mantenimiento, para finalmente realizar un análisis financiero respecto al retorno sobre la inversión, evaluando el costo-beneficio.

2.4 Población y muestra

Población

Está constituida por un conjunto de personas o elementos que poseen características comunes (Criterios de selección inclusión e inclusión), que son estudiadas por el investigador, la misma que permite realizar generalizaciones a partir de la observación de la muestra (Hospinal et al., 2021). La población se encuentra conformada en este caso por operarios, técnicos, de la empresa Ecuasal S. A. Esta planta abarca distintas áreas funcionales como: lavado, administrativos, seguridad, ensacado, despacho; La población estuvo conformada por 22 personas.

Criterios de inclusión: Todo el personal involucrado en los procesos productivos y todos los que desearon participar de forma voluntaria en la investigación de la empresa Ecuasal S. A.

Criterios de exclusión: Todo el personal que no está involucrado en la parte operativa y los que no desearon voluntariamente en el estudio de la empresa Ecuasal S. A. Representado en la Tabla 12.

Tabla 12.

Distribución de la población Ecuasal S. A.

Personal	Sexo		Total
	Masculino	Femenino	
Administrativos	1		1
Lavado	4		4
Seguridad	10		10
Ensacado	6		6
Despacho	1		1
TOTAL			22

Nota: Elaborado por autor en base a (Vera, 2024)

Muestra

Parte representativa de la población, con las mismas características generales de la población (Condori, 2020). La muestra estuvo constituida por aquellos operarios con experiencia directa en la operación de los procesos. La muestra está conformada por todos aquellos que influyen dentro de las áreas seleccionadas, elegidos por su conocimiento y tiempo de permanencia en las áreas, lo cual permite garantizar la validez de la información recolectada para el estudio. Representado en la Tabla 13.

Tabla 13.

Distribución de la muestra Ecuasal S. A.

Personal	Sexo		Total
	Masculino	Femenino	
Lavado	4		4
Seguridad	10		10
Ensacado	6		6
Despacho	1		1
TOTAL			21

Nota: Elaborado por autor en base a (De La Hoz et al., 2016)

Muestreo: Se define como muestreo al proceso por medio del cual se selecciona un subconjunto que sea representativo de la población (Manzini, 2023). En este estudio se aplicó un **muestreo no probabilístico por criterio intencional**, el mismo que se ha usado, ya que permite seleccionar de una manera directa a los individuos que poseen los conocimientos puntuales, como la experiencia y el grado de involucramiento con los procesos; de esta forma, se puede garantizar la adquisición que sea pertinente, como exacta y contextual.

Unidad de análisis: Cada operario, seleccionado de la población para conformar la muestra. Para focalizar los equipos por su alta criticidad operativa dentro del área, dado que su funcionamiento continuo es esencial para garantizar la disponibilidad y eficiencia del proceso productivo de sal. La selección responde a criterios técnicos vinculados a frecuencias de fallas, impacto en la línea de producción y relevancia dentro del flujo operacional (Espín, 2018). Por tanto, este análisis

resulta que la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad no solo se aplica a sistemas específicos, sino también a áreas dentro de una empresa.

2.5 Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

La confiabilidad operativa de los equipos industriales no se puede entender solamente desde la perspectiva técnica; esta requiere una comprensión de forma integral que ayude a incorporar tanto los datos históricos objetivos, en conjunto con el conocimiento tácito del personal que interactúa diariamente con los equipos. En este sentido, la investigación posee un enfoque mixto en el cual los datos que se obtuvieron no solo sirven como base para el análisis técnico del sistema de mantenimiento, sino que también permiten valorar todas las experiencias del talento humano que está involucrado en la operación y el mantenimiento de esta área (Bell et al., 2022).

Método de recolección de datos

Se utilizó un método documental y de campo, de manera que se combina el análisis técnico de registros históricos técnicos con la recopilación directa de información a través de la observación e instrumentos estandarizados para la recolección a través de formularios o cuestionarios estructurados. De tal manera, se tomará como referencia el método de recolección de datos basado en la norma ISO 14224:2016, donde se presenta un modelo estructurado para poder garantizar la integridad, como la coherencia de la trazabilidad de los datos técnicos que se pueden aplicar para el análisis de confiabilidad y mantenimiento industrial. En la Figura 13 detalla un gráfico que determina las fases del proceso de recolección de datos bajo los lineamientos de la norma:

Figura 13.

Procedimiento de recolección de datos



Nota: Elaborado autor siguiendo los lineamientos de la norma ISO 14224:2016

Técnicas de recolección de datos

Es importante que se considere los métodos, las técnicas y los instrumentos como elementos que puedan garantizar el sustento empírico del estudio, donde el método establece el camino a seguir, las técnicas agrupan los procedimientos para poder realizar el método y los instrumentos son los medios que se usan para recolectar y procesar la información, de tal manera que la aplicación de

las técnicas de recolección permite transformar los datos para que sean usados de manera útil y poder generar conclusiones importantes y respaldar la toma de decisiones (Mendoza & Avila, 2020). De tal manera que en la Tabla 14 se detallan y se argumentan las técnicas a ocupar.

Tabla 14.
Técnicas de Recolección de datos

Técnicas	Argumentación	Implementación
Revisión Documental Técnica (análisis de registros históricos)	Se realizó la extracción sistemática de datos técnicos provenientes de las hojas de vida de los activos del área de lavado, órdenes de trabajo (OT), registros de mantenimiento preventivo y correctivo, tiempos de falla, duración de paradas, frecuencia de intervención y demás indicadores contenidos en el sistema de gestión de mantenimiento, esta técnica nos permite sustentar el análisis de confiabilidad mediante el procesamiento estadísticos de fallas y de los tiempos asociados.	Empresa Ecuasal S. A.
Observación directa estructurada	Se utilizó una lista de chequeo técnica para poder verificar y cuantificar el estado físico y operacional de los equipos en campo, considerando el estado de los componentes, condiciones de limpieza, presencia de corrosión, fugas, entre otros. Es importante mencionar que fue tabulada y registrada mediante puntuaciones objetivas para su posterior análisis.	Estado de equipos
Encuesta	Se aplicó un instrumento cuantitativo con escala Likert a los operarios del área con el fin de recoger datos respecto a la percepción técnica relacionada con la frecuencia de fallas, efectividad del mantenimiento actual, criticidad de los equipos y disponibilidad de los recursos.	Operarios

Nota: Elaborado por autor

Instrumentos de recolección

Los instrumentos que se emplean fueron diseñados en base a criterios técnicos específicos, asegurando de tal manera la obtención de los datos confiables y consistentes con los requerimientos que se necesita para el análisis. Se detallan los instrumentos de recolección en la Tabla 15, determinando el instrumento, las variables a cuantificar y la aplicación específica.

Tabla 15.
Instrumentos de recolección

Instrumento aplicado	Instrumento utilizado	Variables cuantificadas	Aplicación específica
Ficha técnica	Ficha de análisis de fallas técnicas	Frecuencia de fallas MTTR Tipo de mantenimiento	Análisis histórico y estadístico de confiabilidad
Check list	Lista de verificación técnica con escala objetiva	Estado físico y operativo de los componentes	Diagnóstico técnico cuantificado de los activos
Cuestionario estructurado	Cuestionario estructurado tipo Likert (1 a 3)	Percepción cuantificada de fallas Criticidad Efectividad del mantenimiento	Análisis estadísticos de la percepción técnica

Nota: Elaborado por autor

Procesamiento de los datos

Se usó la encuesta como técnica para recoger los datos, esta técnica se aplica como un instrumento fundamental para la recolección de datos primarios, permite obtener información directa de las personas involucradas en el objeto de estudio (Ortiz, 2015). Se ha seleccionado la encuesta ya que fue diseñada con preguntas estructuradas que abordan las dimensiones clave como la calidad del mantenimiento, la frecuencia de fallas, y la percepción del personal operativo.

Se usó el cuestionario por medio de la herramienta de Google Forms como instrumento para recoger los datos de la muestra. El cuestionario es el “Instrumento de recogida de datos que utilizamos en la encuesta” (Ortiz, 2015). Se ha seleccionado este tipo de instrumento debido a su capacidad para garantizar la uniformidad en la formulación y orden de las preguntas, lo que permite: i. Comparar respuestas. ii. Agrupar repuestas. iii. Analizar respuestas. De manera objetiva mediante técnicas estadísticas.

La **validez** se refiere al nivel que una herramienta mide con exactitud la variable que se busca evaluar (Torres & Hernández, 2019). Se usarán tres tipos de validez: Contenido, criterio y constructo.

- **Validez de contenido**, es el valor que una herramienta manifiesta un dominio determinado de contenidos de lo que se evalúa (Torres & Hernández-Sampieri, 2019). Para este tipo de validez se aplicó el método de validez por de expertos calificados que recurre a la opinión fundamentada de profesionales con experiencia en el tema, quienes verifican la congruencia, la claridad, y también la relevancia de los ítems en función al objetivo de estudio (Ver Anexo 11, 12, 13 y 14).
- **Validez de criterio**, consisten en la eficacia que se constituye al ordenar las operaciones al emplear las herramientas con las calificaciones alcanzadas de otro criterio exterior que intenta calcular lo mismo (Torres & Hernández, 2019). Para este tipo de validez se aplicó el método de Pearson, también conocido como (r de Pearson), como técnica como cuantitativa para contrastar los resultados con los de una medición previamente validada, evaluando así la capacidad predictiva y concurrente del instrumento (Ver Anexo 17).
- **Validez de constructo**, es el grado en que un instrumento refleja adecuadamente el constructo teórico que se desea medir, además es una esencia que tiene correlación con los demás, y debe ser deducido de la evidencia que poseemos en nuestras manos y proviene de la calificación de la herramienta aplicada (Torres & Hernández, 2019). Para este tipo de

validez se aplicó el método de correlaciones entre dimensiones, que permite establecer relaciones estadísticas entre las variables del instrumento, con el fin de verificar de manera empírica si los ítems se agrupan coherentemente respecto a la estructura teórica propuesta, robusteciendo la validez del instrumento (Ver Anexo 6, 7, 8 y 9).

Confiabilidad: Es el grado de exactitud de la medida en el sentido que si se usa periódicamente la herramienta produce resultados similares (Torres & Hernández, 2019).

Procedimiento: Se construyó el instrumento el cual fue validado por 4 expertos en el tema, se aplicará la evaluación a los sujetos de estudio, se solicitó al representante legal. Para aplicar el cuestionario y el levantamiento de información, la cual permitió calcular primero la validez de criterio, luego la confiabilidad y finalmente la validez de constructo del instrumento.

Métodos de análisis de datos: Se incluye los métodos de procesamiento y análisis de datos, ya sea descriptivo, como de igual manera inferencial.

El **análisis descriptivo** permite examinar los valores que se observan de una variable para reconocer el comportamiento, las tendencias y dispersión, sin realizar inferencias, tampoco generalizaciones a una población mayor (Torres, 2019). Para esta investigación, se aplicó un análisis estadístico descriptivo con el objetivo de resumir y caracterizar

El **análisis inferencial**, consiste en el conjunto de los procedimientos estadísticos que facilita realizar conclusiones y generalizaciones respecto a una población, mediante de los datos obtenidos en una muestra (Torres, 2019). En este tipo de análisis de los resultados se puede presentar las pruebas estadísticas como correlaciones, T-Student, que favorece a las repuestas a las hipótesis de la investigación y ayuda a contractar relaciones entre las variables.

2.6 Variables y Operación

Según Arias Gonzáles, (2022) la operacionalización de variables es un proceso técnico y sistemático que defina cómo medir las variables en una investigación cuantitativa, de manera que se descomponen en dimensiones e indicadores de forma específica, para poder establecer escalas de medición que sean adecuadas, lo cual facilita la recolección de datos que sean precisos y fiables, estructurando de cierta manera la investigación de manera ordenada y que garantiza la validez y fiabilidad de los resultados, de igual forma que es una herramienta que permite superar desafíos metodológicos que ayudan al conocimiento aplicable.

Tabla 16.

Operacionalización de Variable Independiente

Variables	Tipo de variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Preguntas	Técnica e instrumento
Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)	Variable Independiente	Según la norma SAE JAA 1011 el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) es un enfoque de mantenimiento que se centra en asegurar que los equipos y sistemas funcionen de manera confiable y segura (SAE, 2024).	La aplicación de este método se basa que además de ser un plan nuevo, el mantenimiento centrado en la confiabilidad combina métodos tradicionales con una visión integral, orientada a prevenir fallas o minimizar sus efectos, siempre buscando mantener bajos los costos, ya que su objetivo principal es garantizar que todos los activos de una planta cumplan su función dentro de un entorno operativo claramente establecido (Cruzado, 2020)	D1: Identificación de las funciones y de las fallas Se refiere al proceso sistemático de determinar las funciones que deben cumplir los sistemas o los equipos, también los modos de fallas que están asociados que impiden dichas funciones (Ccoñas, 2022)	I1: Definición de funciones del equipo I2: Identificación de modos de fallas I3: Clasificación de consecuencias de fallas	¿Conoce usted o su equipo las funciones operativas de los equipos que utiliza o supervisa? ¿Está usted al tanto de los modos de fallas más frecuentes por cada equipo?	Revisión documental Ficha técnica Observación directa Check List
				D2: Análisis de criticidad Es el método sistemático de evaluar y jerarquizar los activos (los sistemas, los equipos, y los componentes), respecto el riesgo que tiene cada operación (Cedeño & Gorozabel, 2021).	I4: Evaluación de criticidad de los equipos I5: Frecuencia de las fallas de los equipos	¿Tiene conocimiento sobre las consecuencias que ocasionan las fallas de los equipos? ¿Se considera la criticidad de los equipos para priorizar acciones operativas o de mantenimiento? Según su experiencia ¿Con qué frecuencia fallan los equipos del área de lavado de sal?	Revisión documental Ficha técnica Encuesta Cuestionario
				D3: Condiciones actuales del sistema de mantenimiento Se describe el estado real actual del sistema de mantenimiento que posee la empresa en la investigación. (Alvarado & Sabando, 2021).	I6: Existencia de tareas planificadas I7: Tipos de mantenimiento aplicados	¿Se realizan tareas de mantenimiento planificadas en los equipos que usted opera o supervisa? ¿Qué tipo de mantenimiento se realiza con mayor frecuencia en los equipos que maneja o conoce?	Encuesta Cuestionario
				D4: Nivel de preparación para aplicar la metodología RCM Se refiere al grado de madurez de la organización para implementar la metodología (Castro, 2024).	I8: Registros de mantenimientos realizados I9: Conocimiento del personal sobre el enfoque RCM I10: Existencias o procedimientos manuales técnicos	¿Tiene conocimiento o acceso a los registros de mantenimiento de los equipos? ¿Conoce usted los principios y beneficios del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)? ¿Sabe si los equipos cuentan con manuales técnicos disponibles?	Revisión documental Ficha técnica Encuesta Cuestionario Revisión documental Ficha técnica

Nota: Elaborado por autor

Tabla 17.

Operacionalización de Variable Dependiente

VARIABLES	Tipo de variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Preguntas	Técnica e instrumento
Disponibilidad Operativa	Variable Dependiente	La disponibilidad operativa representa la capacidad de los activos industriales para estar operativos cuando se requieren, y es un indicador clave para evaluar la eficiencia de un sistema productivo (Solórzano & Espinosa, 2021)	La disponibilidad operativa será evaluada mediante indicadores como el porcentaje de disponibilidad, número y duración de paradas no programadas, reincidencias de fallas y cumplimiento del plan de mantenimiento. La información será recopilada de registros operativos, reportes técnicos y hojas de mantenimiento del área de lavado de Ecuasal S.A. (Condor & Vasquez, 2025).	D5: Tiempo de operación de los equipos Se refiere al total acumulado de las horas de un equipo que se encuentra en estado operativo respecto a un periodo establecido (Canahua, 2021).	I11: Horas disponibles respecto a las horas programas I12: Frecuencia de paradas no programadas	Según su experiencia, ¿Qué tan bien están funcionando los equipos en comparación con el tiempo que deberían trabajar? ¿Qué tan frecuentes son las paradas inesperadas de los equipos en el área de trabajo?	Revisión documental Ficha técnica
				D6: Estado actual de la disponibilidad Se evalúa el nivel de disponibilidad operativa de los equipos, es decir la capacidad de un activo de encontrarse en un estado para que pueda cumplir la función requerida (García, 2022).	I13: Duración promedio de las dallas I14: Causas operativas frecuentes	¿Cuánto tiempo, en general, permanecen detenidos los equipos cuando fallan? Desde su punto de vista, ¿Existen factores operativos que afecten negativamente la disponibilidad de los equipos (como sobrecarga o uso inadecuado)?	Revisión documental Ficha técnica Encuesta Cuestionario
				D7: Gestión de los tiempos de parada Son las prácticas para planificar, registrar, y de optimizar los periodos en que los equipos dejan de operar, es decir que presentan paradas (Prado, 2022).	I15: Tiempos medio entre fallas (MTBF) I16: Tiempos medio de reparación (MTTR) I17: Tiempo espera por repuestos	¿Con que frecuencia se presentan fallas en los equipos mientras están en operación? Según experiencia, ¿Cuánto tiempo toma, en promedio, en reparar una falla? Según su experiencia, ¿Cuánto tiempo adicional tarda un equipo en volver a operar por falta de repuestos?	Revisión documental Ficha técnica
				D8: Percepción de los operarios y jefe Se recoge las actitudes, opiniones y disposición respecto a los programas de mantenimiento e implementación de nuevas tecnologías (Yanarico, 2024).	I18: Opinión sobre la disponibilidad actual I19: Impacto de las paradas de producción I20: Plan de mantenimiento preventivo	¿Cómo calificaría usted la disponibilidad de los equipos para realizar su trabajo? Según su experiencia, ¿Qué nivel de impacto tienen las paradas en la producción de la planta? ¿Cree usted que un plan de mantenimiento preventivo basado en RCM ayudaría a mejorar la confiabilidad de los equipos?	Encuesta Cuestionario Encuesta Cuestionario

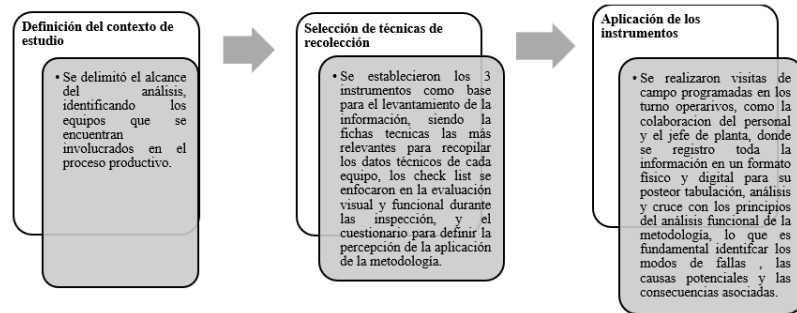
Nota: Elaborado por autor

2.7 Procedimiento para la recolección de datos

El proceso contempló el uso de herramientas de carácter técnico y estructurado, como el llenado de la ficha técnica, las listas de verificación enfocadas en el diagnóstico del estado operativo y funcional, y la aplicación cerrada de 20 preguntas, para sustentar el análisis funcional y determinar las posibles fallas relacionadas. El proceso para la recopilación de datos se detalla en la Figura 14.

Figura 14.

Proceso para la recopilación de datos



Nota: Elaborado por autor

El procedimiento garantizó la obtención de los datos técnicas y fiables, pertinentes y alineados con el objetivo de la investigación, permitiendo generar una base para le resolución de la metodología.

2.8 Plan de análisis e interpretación de resultados

Tabla 18.

Plan de análisis e interpretación de resultados

Objetivos específicos	Actividad	Instrumentos	Resultados esperados
Desarrollar los sustentos teóricos sobre el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) y la Disponibilidad Operativa, mediante un estado del arte basado en una revisión sistemática de la literatura y un análisis bibliométrico, para el fundamento de las variables de estudio y los enfoques metodológicos.	<ul style="list-style-type: none"> - Búsqueda de los artículos científicos - Revisión de la literatura -Elección del método para el desarrollo del estado del arte 	<ul style="list-style-type: none"> - Base de datos (Scopus, Dimensions, WOS) - Análisis bibliométrico con VOSviewer 	<ul style="list-style-type: none"> - Relación entre las variables y las dimensiones - Tabla de artículos seleccionados
Diseñar un marco metodológico fundamentado en estudios previos sobre el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), mediante metodologías, técnicas de recolección y análisis de datos, que permita la estructura de un modelo orientado a la implementación de la metodología.	<ul style="list-style-type: none"> - Establecimiento enfoque, y muestras - Establecimiento del marco metodológico - Técnicas e instrumentos a utilizar 	<ul style="list-style-type: none"> - Enfoque mixto, diseño no experimental, descriptiva transversal, correlacional - Desarrollo del proceso metodológico - Fichas técnicas, check list y cuestionario 	<ul style="list-style-type: none"> - Se determinan la naturaleza como también el enfoque del estudio - Se desarrolla el proceso y el marco metodológico - Se eligieron los instrumentos para la recolección de datos
Elaborar una propuesta técnica de mantenimiento basado en RCM que permita la mejora de la disponibilidad operativa de los equipos en el área de lavado, considerando la criticidad de los activos, modos de fallas y funciones requeridas.	<ul style="list-style-type: none"> - Se desarrolla el proceso metodológico para la recolección de los datos 	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicación de la metodología RCM 	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis de los datos recolectados - Propuesta del plan de mantenimiento preventivo.

Nota: Elaborado por autor

CAPÍTULO III

MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Presentación de Resultado

El objetivo principal del análisis de los resultados que se han obtenido por medio de la encuesta que se ha realizado al personal del área de la empresa, es poder evaluar la situación actual del sistema de mantenimiento que se ha establecido, con el fin de que en un futuro poder aplicar la metodología para elaborar un plan de mantenimiento que pueda incrementar la disponibilidad operativa como la confiabilidad de los equipos, es importante mencionar que las diversas áreas implicadas en el proceso de producción muestran una correlación relevante que evidencia el estado actual de la gestión de mantenimiento, de tal manera que facilita la interpretación exacta de tanto los procedimientos actuales como su impacto en la eficiencia operativa.

3.2 Validez y Confiabilidad del instrumento

Validación de instrumentos (Análisis de fiabilidad Alfa de Cronbach)

La validez del instrumento (cuestionario estructurado) fue determinada mediante la valoración de un grupo de 4 expertos, utilizando la metodología Delphi, lo cual permitió asegurar la pertinencia y coherencia de cada ítem en relación con los objetivos del estudio. Posteriormente, se procedió a evaluar la confiabilidad interna del cuestionario mediante el coeficiente Alfa de Cronbach, usando el software estadístico IBM SPSS Statistics 27. Este coeficiente permite medir el grado de consistencia entre los ítems del cuestionario, representando dicha relación mediante un valor decimal positivos comprendido entre 0 y 1.

Las preguntas fueron estructuradas utilizando una escala ordinal de tres niveles (1 = Bajo, 2 = Medio, 3 =Alto), con el fin de valorar aspectos relacionados con las prácticas de mantenimiento actuales y la implementación de estrategias RCM. Si bien el alfa de Cronbach generalmente requiere una muestra más amplia para obtener estimaciones estadísticas robustas, en este caso se aplicó de forma exploratoria, reconociéndose como una limitación metodológica propia del entorno industrial operativo.

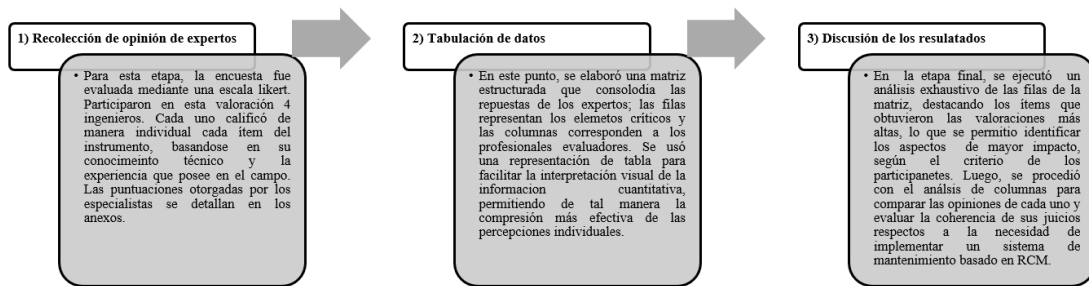
De acuerdo con De La Hoz et al., (2016), detalla criterios establecidos, donde se interpreta de la siguiente manera:

- Coeficiente de alfa de Cronbach mayor a 0,9 es Excelente
- Coeficiente de alfa de Cronbach mayor a 0,8 y menor a 0,9 es bueno
- Coeficiente de alfa de Cronbach mayor a 0,7 y menor a 0,8 es aceptable
- Coeficiente de alfa de Cronbach mayor a 0,6 y menor a 0,7 es bueno Cuestionable
- Coeficiente de alfa de Cronbach mayor a 0,5 y menor a 0,6 es bueno Pobre
- Coeficiente de alfa de Cronbach menor a 0,5 es Inaceptable

Procedimiento de validez de instrumento

En la Figura 15 se detalla el proceso para la evaluación de instrumentos, con la respectiva descripción de cada uno.

Figura 15. Proceso para evaluación de instrumentos



Nota: Elaborado por autor

En la figura anterior, se detalla que el primer paso es la recolección de opinión de expertos donde cada experto asigna un valor en diferentes criterios, el paso dos es la tabulación, para finalmente realizar la discusión de los resultados.

Fiabilidad del instrumento de encuesta

Los expertos asignaron una puntuación a cada una de las preguntas del cuestionario, usando el método Delphi, donde se presentan (Inadecuado, Medianamente adecuado, Adecuado, Muy adecuado, Totalmente adecuado), donde se presentan los resultados y puntuaciones de cada una de las preguntas dadas por los expertos, se detallan en la Tabla 19.

Tabla 19.

Puntuación de expertos

Ítem	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Experto 4
Claridad	88	90	89	87
Objetividad	90	85	87	89
Actualidad	88	89	85	88
Organización	89	86	88	84
Suficiencia	84	87	83	84
Intencionalidad	86	82	84	85
Consistencia	86	85	88	86
Coherencia	87	84	83	88
Metodología	83	86	82	87
Pertinencia	89	85	88	89

Nota: Elaborado por autor

Los resultados presentados en la tabla corresponden al trabajo del grupo de 4 expertos, encargados de validar las preguntas cerradas formuladas para la aplicación en la empresa Ecuasal S, A (Ver Anexo 11, 12, 13 y 14). Donde se presenta que del experto 1 al experto 4 se encuentran en el rango de totalmente adecuado, es decir se valida la consistencia interna del cuestionario según los expertos.

Análisis de resultados de encuesta aplicada

Una vez aplicada la recolección de datos mediante encuestas aplicadas al personal operativo, la información obtenida fue clasificada y organizada en función de los objetivos específicos, de las variables y de las hipótesis planteadas en la investigación. Donde los resultados se consolidaron en una muestra representativa conformada por los colaboradores directamente involucradas en las actividades de mantenimiento y operación de los equipos críticos. En la Tabla 20 (Ver Anexo 17) se presentan el desglose de estos datos, y a través de gráficos se ilustra visualmente el comportamiento de las repuestas para cada ítem de la encuesta, facilitando así la interpretación estadística y técnica de los hallazgos.

Tabla 20. Resultados de la encuesta

Ítem	Repuesta	Ítem	Respuesta
P1	El 57.1% de los encuestados afirma tener claridad respecto a las funciones operativas de los equipos, mientras que el otro 3.1% tiene dudas y el 4.8% no conoce las funciones operativas. Esto indica que hay un conocimiento parcial, lo que puede comprometer la correcta operación y diagnóstico de fallas.	P11	Se percibe un desempeño medio con un 71.4% y el otro 28.6% considera que los equipos funcionan medianamente alto. No se reportan niveles bajos, lo cual indica un funcionamiento aceptable, aunque perfectible.
P2	Solo un 38.1% tiene certeza sobre los modos de falla comunes y el 57.1% tiene incertidumbre, mientras que el 4.8% no está al tanto de los modos de fallas. Esto evidencia una debilidad en la gestión del	P12	Las paradas inesperadas son consideradas con un nivel medio con un 66.7%, mientras que el 28.6% considera que las paradas inesperadas son altas y solo el 4.8%

	conocimiento técnico y en el uso de herramientas como el análisis de modos y efectos de falla (AMEF)		considera que son bajas, los problemas ocasionales que deben ser investigados y mitigados.
P3	El 52.4% reconoce las consecuencias de las fallas, el 42.9% no tiene seguridad al respecto y el 4.8% no conoce las consecuencias, lo cual puede dificultar la priorización de acciones correctivas y el análisis de criticidad.	P13	El tiempo de las detenciones está considerado a un nivel medio por el 61.9%, mientras que el otro 33.3% considera que están en un nivel alto, y solo 4.8% considera que bajo.
P4	El 85.7% posee dudas respecto a que se aplica la criticidad de los equipos para priorizar acciones operativas o de mantenimiento, mientras que el 14.3% restante afirma que sí se considera la criticidad para la priorización de acciones.	P14	Un 81% considera que tal vez existen factores operativos negativos, y el 14.3% considera que si existen factores negativos. Esto debe ser abordado con protocolos de operación y capacitación para evitar sobrecargas o mal uso.
P5	Las fallas se perciben de una manera media con un 57.1%, mientras que el 23.8% considera que es alto, y solo el 19% considera que las fallas ocurren de una manera baja.	P15	Las fallas en niveles medios, mayormente con un 61.9%, sugieren un comportamiento irregular de los equipos que justifica implementar estrategias de mantenimiento efectivas, ya que el 23.8% que son altas, y solo el 14.3% considera que son bajas.
P6	Una mayoría significativa (71.4%) muestra dudas respecto a que, si se ejecuta mantenimiento planificado, lo cual es positivo. Sin embargo, el 23.8% considera que sí, y solo el 4.8% considera que no se realizan, de tal manera que representa una oportunidad para reforzar la programación visible y la comunicación del plan de mantenimiento.	P16	El tiempo de reparación se percibe entre medio con un 47.6% y alto con el mismo porcentaje. Esto es crítico y puede deberse a falta de repuestos, herramientas o personal capacitado.
P7	La operación se reparte entre correctivo con un 66,7% y preventivo con un 33,3%. El mantenimiento predictivo no se aplica con 0%, lo cual representa un área crítica de mejora para anticipar las fallas y reducir tiempos de inactividad.	P17	El 57.1% considera que el tiempo adicional es medio, mientras que el 33.3% considera que es bajo, y solo el 9.5% es alto por falta de repuestos; esto evidencia una debilidad en la gestión del inventario o compras técnicas.
P8	El 57.1% tiene dudas respecto al conocimiento o acceso, mientras que el 33.3% está seguro que sí, mientras que el 9.5% considera que no, lo cual limita la trazabilidad histórica de fallas y la toma de decisiones basadas en datos	P18	La disponibilidad es buena, ya que está en un nivel medio con un 66.7% y alto con un 28.6%, pero no excelente. Este aspecto es clave dentro del objetivo de mejorar la confiabilidad operativa.
P9	La mitad posee conocimiento con un 47.6%, mientras que el otro 47.6% posee dudas sobre el mismo, y solo el 4.8% está seguro de que no conoce la metodología. Este resultado destaca una necesidad urgente de formación y concienciación sobre esta metodología, que es la base de nuestra propuesta.	P19	El 57.1% reconoce un impacto medio en producción ante paradas, mientras que el otro 42.9% considera que es alto; por ello se justifica plenamente el desarrollo de un plan RCM para mitigar estas consecuencias.
P10	El 66.7% no está seguro de si los equipos cuentan con manuales técnicos, mientras que el 23.8% está seguros de que no cuentan, y solo el 9.5% está seguros de que si cuentan con manuales técnicos disponibles.	P20	La mayoría considera que si ayudaría con un 57.1%, mientras que 38.1%, tiene dudas al respecto al plan preventivo basado en RCM, lo que validad pertinencia de nuestra propuesta.

Nota: Elaborado por autor

Los resultados que se obtuvieron a partir del levantamiento de información interna reflejan una percepción general favorable respecto al funcionamiento del área de lavado de sal en la empresa

Ecuasal S. A. Sin embargo, también se identifican oportunidades de mejora relacionadas con la disponibilidad de los equipos, y la eficiencia del sistema de mantenimiento actual. El personal operativo reconoce factores externos y condiciones ambientales (como son la alta salinidad y el desgaste prematuro de componentes), los cuales impactan de manera negativa la confiabilidad de los activos y, a la vez generan costos adicionales asociados a las paradas no programadas.

Existe un consenso amplio respecto a la necesidad de implementar un modelo de mantenimiento mejor estructurado y orientado a la confiabilidad, para establecer estrategias de mejora enfocadas en: i. Incrementar la disponibilidad operativa. ii. Reducir las fallas. iii. Optimizar los tiempos de intervención técnica.

La información que se obtiene mediante el cuestionario estructurado está dirigida al personal. Cuyos resultados se tabularon y analizaron para diagnosticar la situación actual del sistema de mantenimiento. Detallados en la Tabla 21.

Tabla 21.
Tabulación de los datos obtenidos por el cuestionario estructurado

Preguntas Encuestados	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	I10	I11	I12	I13	I14	I15	I16	I17	I18	I19	I20
Encuestado 1	2	3	3	2	2	3	2	3	3	2	3	3	3	2	2	2	2	2	3	2
Encuestado 2	2	3	3	2	2	2	2	1	3	2	2	3	2	3	3	3	2	2	3	2
Encuestado 3	3	2	3	2	2	3	3	1	2	3	3	2	2	2	2	3	2	2	2	3
Encuestado 4	3	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2	1
Encuestado 5	3	3	2	2	2	2	2	3	2	2	3	3	2	2	1	2	2	2	2	3
Encuestado 6	2	2	3	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	3	2	2	3	2
Encuestado 7	3	2	3	2	2	2	2	3	3	1	2	2	3	2	2	2	2	2	2	3
Encuestado 8	2	2	2	2	2	3	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	3	2
Encuestado 9	3	3	2	2	3	2	2	2	3	3	2	3	2	2	3	3	1	2	2	3
Encuestado 10	3	2	3	2	3	2	2	3	2	1	2	3	2	2	1	3	2	3	2	2
Encuestado 11	3	3	3	3	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	1	2	2	3	3	3
Encuestado 12	3	2	2	2	1	2	3	2	3	2	2	2	3	2	3	2	1	2	2	3
Encuestado 13	2	2	3	2	3	2	3	2	3	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	2
Encuestado 14	1	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2
Encuestado 15	2	2	3	2	2	1	2	3	2	2	2	2	3	2	2	3	1	3	2	3
Encuestado 16	3	3	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	1	3	2	3	3
Encuestado 17	3	2	3	2	1	3	3	2	2	2	3	2	3	2	2	2	2	2	3	2
Encuestado 18	3	2	1	2	3	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	1	2	2	3	3
Encuestado 19	3	2	3	2	2	3	2	3	3	2	3	3	1	2	2	3	2	2	3	3
Encuestado 20	2	3	2	3	3	2	3	2	3	2	2	2	3	2	2	3	2	2	3	3
Encuestado 21	2	3	2	3	2	3	3	3	2	2	3	2	3	3	2	3	2	3	3	3

Nota: Elaborado por autor

Se presenta la matriz de tabulación correspondiente a las 20 preguntas diseñadas en el instrumento de recolección de datos aplicado al personal de la empresa Ecuasal S. A., específicamente del área de lavado. La totalidad de los 21 colaboradores seleccionados para el cuestionario. La ponderación de las respuestas permitió realizar un análisis de confiabilidad y validez del instrumento, empleando para ello un software estadístico especializado, IBM SPSS Statistics 27.

De acuerdo con los datos que se han obtenido, los cuales reflejan 21 casos válidos, lo que equivale al 100% de la muestra que se ha censado, es decir, sin registros que se hayan excluido, de forma que se detalla en la Tabla 22 correspondiente.

Tabla 22.

Procesamiento de casos

Procesamiento de casos			
		N	%
Casos	Válido	21	100
	Excluido		0
	Total	21	100

Nota: Elaborado por autor

Respecto a la consistencia interna del cuestionario estructurado realizado, se calculó el coeficiente de Cronbach, obteniendo un valor de 0.708, el cual representa un rango “aceptable” respecto a los estándares de confiabilidad estadística, que evidencia que el instrumento que se ha aplicado posee una alta fiabilidad para poder evaluar tanto las percepciones como los criterios relacionados con la gestión de mantenimiento actual, tal como se detalla en la Tabla 23. La evaluación fue realizada sobre un cuestionario compuesto por 20 ítems, estructurado con 3 opciones de respuestas, cuyos resultados se detallan en los anexos. Esta validación estadística refuerza la solidez metodológica del diagnóstico que se ha realizado, y servirá como punto de partida para el desarrollo de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Tabla 23.

Fiabilidad del instrumento cuestionario estructurado

Estadística de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
0.708	20

Nota: Elaborado por autor

Así mismo, se recopilieron datos claves, gracias a la lista de verificación y fichas técnicas, en conjunto con la percepción del cumplimiento de los objetivos operativos, lo que servirá como insumo para el desarrollo del modelo de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad, lo que permitirá evaluar indicadores clave como la frecuencia de fallas, el tiempo medio entre fallos (MTBF), el tiempo medio de reparación (MTTR) y la disponibilidad, facilitando de tal manera la toma de las decisiones orientadas a mejorar la confiabilidad del proceso productivo.

Correlación de las variables

Para la ejecución del análisis mediante el coeficiente de correlación de Pearson, se procedió inicialmente a establecer la relación entre las dos variables cuantitativas objeto de estudio. El coeficiente de Pearson permite evaluar tanto la normalidad como la intensidad de la asociación lineal entre dichas variables (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad y Disponibilidad Operativa), siendo aplicable exclusivamente a datos de naturaleza cuantitativa (Morales & Rodríguez, 2016). En el estudio realizado por Santabárbara, (2019), se define que, aplicable en estudio con menores números de observaciones de 30 ($n < 30$), el coeficiente r proporciona una estimación robusta de la correlación, siendo un valor de $r = 1$ indica una correlación positiva perfecta, respaldando la aceptación de la hipótesis alternativa, mientras que un valor de $r = -1$ representa una correlación negativa perfecta, evidenciando una asociación inversa entre las variables analizadas, y de igual manera, para que los datos sean considerados estadísticamente significativos, el valor de p tiene que ser menor a 0.05. Siendo la interpretación de los distintos valores del coeficiente de correlación de Pearson:

- Si $r = 0$ no hay semejanza entre las variables.
- Si $0 < r < 0.30$ existe una correlación débil.
- Si $0.30 \leq r \leq 0.70$ existe una correlación moderada.
- Si $0.70 \leq r \leq 1$ existe una correlación fuerte.
- Si $r = \pm 1$ existe una correlación perfecta.

Una vez realizada la evaluación previa, se procedió al desarrollo del contraste de hipótesis utilizando el coeficiente de correlación de Pearson. En este contexto, planteó la hipótesis nula (H_0), la cual sostiene que no existe una relación estadísticamente significativa entre las variables de estudio, y la hipótesis alternativa (H_1), que postula la existencia de una asociación entre ambas.

Hipótesis nula (H_0)

H_0 : La propuesta de aplicación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) no contribuye en la mejora significativa en la disponibilidad operativa de los equipos del área lavado en la empresa Ecuasal, comuna Monteverde-Ecuador.

Hipótesis alternativa (H_1)

H1: La propuesta de aplicación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) contribuye en la mejora significativa en la disponibilidad operativa de los equipos del área lavado en la empresa Ecuasal, comuna Monteverde-Ecuador.

Comprobación de hipótesis con la correlación de Pearson

La evaluación de la hipótesis a través del coeficiente de Pearson es un método fundamental para confirmar hipótesis de investigación e impedir errores inferenciales, tal como lo detalla Amaiquema, (2020). De tal manera que este método permite una correspondencia más exacta entre los datos obtenidos y las metas propuestas, ya que no solo aportó solidez estadística a los resultados, sino que también permitió confirmar, desde una perspectiva cuantitativa, observaciones realizadas previamente en el entorno operativo. Este refuerza la utilidad del enfoque seleccionado y justifica su aplicación en contextos similares.

Para cuantificar la correlación entre las variables, se empleó el coeficiente de Pearson, que es un estándar técnico en el estudio de análisis cuantitativo. Este resultado respalda la evaluación de tanto la orientación como la intensidad de la relación lineal entre las variables. Se presenta el análisis de correlación de Pearson, de la variable independiente, y de la variable dependiente, teniendo en cuenta la correlación de Pearson, valor de significancia y el número de encuestados, tal como se muestra en la Tabla 24.

Tabla 24.

Coefficiente de correlación de Pearson

		Correlaciones	
		VI	VD
VI	Correlación de Pearson	1	0.790
	Sig. (Bilateral)		<.001
	N	21	21
VD	Correlación de Pearson	0.790	1
	Sig. (Bilateral)	<.001	
	N	21	4

Nota: Elaborado por autor

En la Tabla 24, se demuestra que se obtuvo un coeficiente de 0.790, lo que refleja correlación fuerte entre las variables estudiadas. Así mismo, el valor de significancia es de $p = < 0.001$, ya que es menor a 0.5, se corrobora que la relación que se observa entre las variables es significativa desde el punto de vista estadístico (ver Anexo 17).

Con base en los resultados obtenidos, se confirma la existencia de una correlación moderada entre la variable independiente (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) y la variable dependiente

(Disponibilidad Operativa), respaldada por el nivel de confiabilidad estadística. En consecuencia, se procede a rechazar la hipótesis nula (H0) y aceptar la hipótesis alternativa (H1), la cual sostiene que “La aplicación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) mejora significativamente en la disponibilidad operativa de los equipos del área lavado en la empresa Ecuasal, comuna Monteverde-Ecuador”.

3.3 Descripción de la empresa

Generalidades

La empresa ecuatoriana de Sal y Productos Químicos S. A. (ECUASAL), fundada en el año 1961, se dedica a la producción y refinación de sal marina por medio de procesos de evaporación solar. Su actividad económica principal es la elaboración de sal para consumo humano e industrial, destacando por su compromiso con la calidad, la inocuidad alimentaria y la sostenibilidad ambiental. Ecuasal opera en la provincia de Santa Elena, Ecuador, con dos plantas principales:

- Planta Salinas: Ubicada en el km. 1 camino Mar Bravo, Avda. Ramón Fernández, península de Santa Elena-Ecuador.
- Planta Pacoa: Ubicada en el Carretero San Pablo-Monteverde km.8, península de Santa Elena-Ecuador.

En la Figura 16, se observa el logotipo correspondiente a la empresa Ecuasal S.A. Este se compone de los siguientes elementos: en la parte central se representa un salero, el cual simboliza el producto principal de la compañía, sobre un fondo de mar y sol, enmarcado por un círculo azul con borde ondulado. Debajo se encuentra el nombre y el eslogan “Somos parte de la naturaleza”, resaltando su vínculo con el entorno natural.

Figura 16.

Logo Ecuasal S. A.



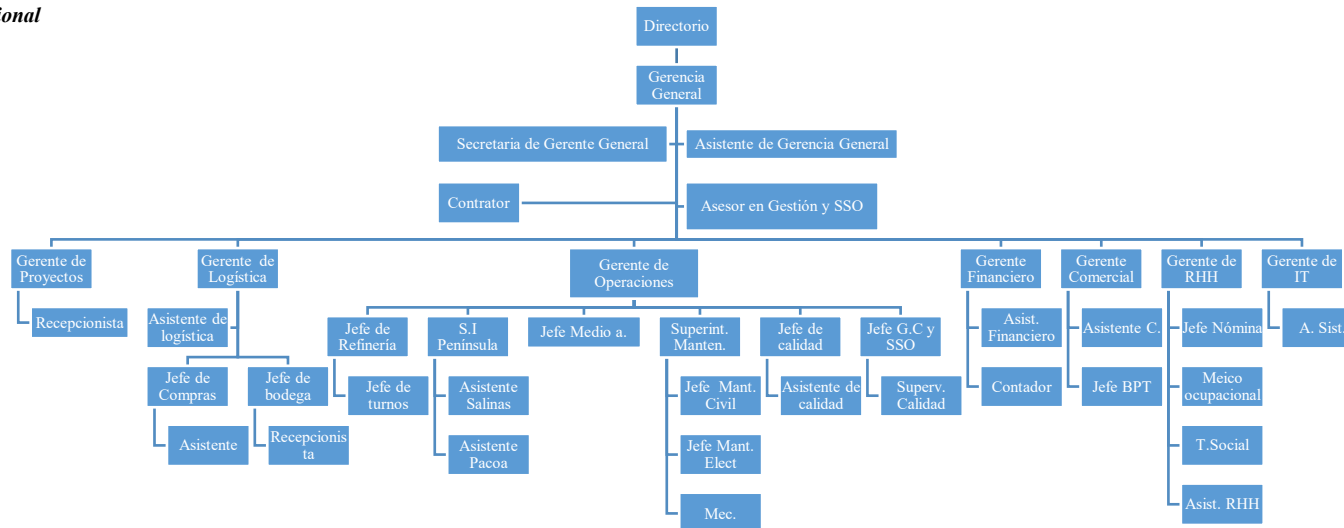
Nota: Tomado de Empresa Ecuasal S. A. logo de la empresa, archivos de la empresa

Organigrama estructural

La empresa Ecuasal S. A. presenta una estructura jerárquica compuesta por diferentes áreas, conformada por más de 30 colaboradores distribuidos en niveles estratégicos, tácticos y operativos. En la cima se sitúa la Gerencia General, la cual está directamente vinculada al Directorio. Dentro de su mandato, se estructuran departamentos como operaciones, proyectos, logística, finanzas, comercial, entre otros. El jefe de operaciones encabeza áreas fundamentales como el mantenimiento, la calidad, la refinación y la supervisión de procesos industriales, mientras que el jefe de logística organiza adquisiciones, almacén y envíos con el respaldo de asistentes y líderes de departamento. Por otro lado, el jefe financiero y el jefe comercial administran los recursos financieros y las estrategias de mercado, respectivamente, con el apoyo de asistentes y contadores. Además, el departamento de recursos humanos, bajo la dirección de su gerente correspondiente, se ocupa de la nómina, la salud laboral y el bienestar social. Esta estructura posibilita una administración completa, organizada y eficaz, tal como se ilustra en la Figura 17.

Figura 17.

Organigrama Funcional



Nota: Elaborado por autor basados en versiones de los directorios y colaboradores. Ecuasal S. A.

Situación actual

Estas instalaciones cuentan con extensas piscinas de evaporación que abarcan aproximadamente 1300 hectáreas, utilizadas para la cristalización natural de la sal a partir del agua de mar.

La encuesta realizada en Ecuasal S. A. en la planta Pacoa, reveló la importancia de establecer un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad, debido a que se desea proponer un sistema que disminuya las paradas no programadas, la disponibilidad operativa y la pérdida de eficiencia en el sistema. Los resultados obtenidos pudieron facilitar la identificación de los diferentes elementos que afectan en este campo, de tal manera que, gracias a la información obtenida, se procedió al desarrollo de la metodología con el fin de mitigar los riesgos y fallas operativas y, a su vez, optimizar la gestión técnica de los equipos.

3.4 Aplicación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad

Contexto operacional

En la primera parte se establece un panorama claro del entorno en el cual se encuentran operando los equipos, de tal manera que se consideran tanto las condiciones reales del trabajo como las funciones esperadas y los diferentes factores que pueden influir en su desempeño, es decir, todos los aspectos que influyen en el contexto operacional.

Para nuestra investigación, se realizó una recolección sistemática de la información por medio de los instrumentos de recolección de datos:

- **Ficha técnica:** Se recopiló información del fabricante, manuales de operación para conocer las especificaciones técnicas, funciones principales y los límites de operación de cada uno de los componentes que están involucrados en el proceso de lavado (ver Anexo 3) y resultados (ver Anexo 15).
- **Cuestionario estructurado:** Se aplicó un cuestionario al personal para identificar las percepciones sobre el comportamiento operativo, como los modos de fallas, los niveles de criticidad, los tiempos de parada, donde se detectó problemas no evidenciables solo mediante documentación técnica (Ver Anexo 4) y resultados (ver Anexo 18)
- **Check List:** Se implementaron listas de verificación para realizar inspecciones visuales y funcionales a cada uno de los equipos, donde permitieron contrastar el estado operativo

actual con las diferentes condiciones estándar que son definidas por el fabricante y los criterios de mantenimiento interno de la empresa (Ver Anexo 2) y resultados (Ver Anexo 15)

La información que se obtuvo por medio de estos medios permitió establecer las condiciones del entorno operacional:

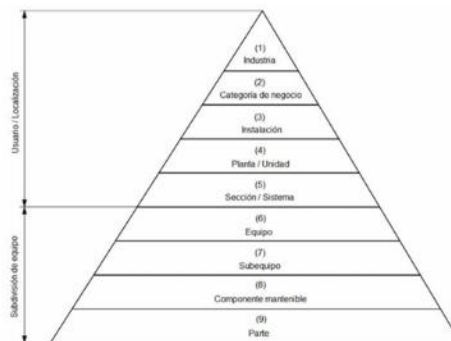
- **Condiciones ambientales:** Existe alta exposición a ambientes salinos y humedad elevada, lo cual acelera los procesos de corrosión y el desgaste mecánico, especialmente a los componentes metálicos no protegidos.
- **Condiciones de carga y uso:** Los equipos operan en jornadas intermitentes bajo una carga de trabajo entre media y alta, especialmente en las temporadas pico de producción.
- **Frecuencia de fallos reportados:** Se identificaron los fallos recurrentes por: i. Obstrucciones. ii. Desgaste prematuro de componentes móviles. iii. Corrosión en equipos y estructuras. iv. Fugas en líneas de bombeo.
- **Disponibilidad técnica del personal:** Se evidenció un conocimiento empírico elevado por parte del personal operativo, aunque con limitaciones en la aplicación de técnicas predictivas, y análisis de causas raíz.

Jerarquización de elementos mantenibles

De acuerdo con la taxonomía, encontramos que el nivel en el que se encuentran es en el 6.º (equipo), determinado en la Figura 18, respecto a los niveles taxonómicos.

Figura 18.

Taxonomía de equipos con niveles taxonómicos



Nota: Imagen tomada de la norma ISO 14224

En la Tabla 25, se presenta el desglose de cada equipo junto a sus códigos, sub-equipo, componente mantenible, o parte. Respecto a la norma ISO 14224:2016, se presenta la jerarquización de los equipos para mostrar de una manera detallada cuáles son los sub-equipos, componentes o partes del equipo o activo de estudio para el análisis de modos de fallas y efectos.

Tabla 25.

Jerarquización de elementos

Código	Nivel 6 (Equipo)	Nivel 7 (Sub Equipo)	Nivel 8 (Componente mantenible)	Nivel 9 (Parte)
EQ-001	Tolva de alimentación de sal de 20 m³	Estructura metálica principal Compuerta de descarga Rejilla	Chasis (Cuerpo de tolva)	Paredes laterales
EQ-002	Captador magnético Alimentador vibrante	Soporte o base Cubierta de protección	Estructura de soporte	Pernos y tuercas
EQ-003		Sistema de vibración Bandeja vibrante Sistema de suspensión Soporte o base Templadores	Motor vibrador Canal de alimentación Resortes helicoidales Estructura de soporte	Rodamientos Pernos y tuercas
EQ-004	Cinta transportadora TC 650x14	Sistema de transporte Sistema de transporte Rodillos	Banda Poleas Rodillos de carga y retorno	Banda de caucho Ejes, retenes y rodamientos
EQ-005	Lavadero Tornillo sin fin	Soporte o base Sistema motriz Templadores	Estructura de soporte Motor	Pernos y tuercas Carcasa
		Bandeja de lavado Tornillo sin fin Canal de descarga Sistema motriz Acoplamientos	Canal de lavado Eje helicoidal Tubería o canal de salida Motor	Planchas metálicas Paletas helicoidales Carcasa
EQ-006	Escurreidor vibrante ESS 180 330	Soporte o base Sistema de vibración Sistema de suspensión Soporte o base Chasis vibrante	Estructura de soporte Motor vibrador Resortes helicoidales Estructura de soporte	Pernos, tuercas, vigas Rodamientos Pernos y tuercas
EQ-007	Cinta transportadora TCP 650x18	Sistema de transporte Sistema de transporte Rodillos	Banda Poleas Rodillos de carga y retorno	Banda de caucho Ejes, retenes y rodamientos
EQ-008	Cinta transportadora TCLG 650x30	Soporte o base Sistema motriz Templadores	Estructura de soporte Motor	Pernos y tuercas Carcasa
		Sistema de transporte Sistema de transporte Rodillos	Banda Poleas Rodillos de carga y retorno	Banda de caucho Ejes, retenes y rodamientos
EQ-009	Bomba ZN 32/160	Soporte o base Sistema motriz Templadores Motor eléctrico Carcasa bomba Soporte estructural	Estructura de soporte Motor	Pernos y tuercas Carcasa
EQ-010	Bomba ZN 65/160	Motor eléctrico Carcasa bomba Soporte estructural	Motor trifásico Voluta Base de fijación	Bobinado Tapa de inspección Placa metálica, pernos
EQ-011	Bomba ZN 80/160	Motor eléctrico Carcasa bomba Soporte estructural	Motor trifásico Voluta Base de fijación	Bobinado Tapa de inspección Placa metálica, pernos

Nota: Elaborado por autor

Respecto a los equipos determinados en el área, el siguiente paso de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) es el análisis de modos de fallas y efectos, donde el objetivo es identificar los modos de fallas más probables de los equipos, en conjunto con sus causas y efectos, como insumo para priorizar cuáles serán las acciones de mantenimiento.

Este proceso se realizó mediante la metodología de: i. Revisión de los reportes de mantenimiento del año 2024 proporcionados por el jefe de planta, plasmados en las fichas técnicas de mantenimiento de cada equipo. ii. Cuestionario estructurado para definir el contexto operacional dirigido a los operarios y al jefe de planta. iii. Uso de la lista de verificación, para determinar el estado actual de los equipos. iv. Se tomó como referencia cruzada con la ISO 14224 (Modos de fallas estándar por equipo).

Análisis modos de falla

En la Tabla 26, se presenta la identificación preliminar de fallas, en donde reúne los modos de fallas, las causas raíz y los efectos operativos que se encuentran asociados a los principales equipos de esta área. Esta información ha sido recopilada mediante el análisis de los reportes técnicos de mantenimiento del año 2024, observaciones directas (lista de verificación) y el cuestionario estructurado, alineándose con los lineamientos que se encuentran establecidos por la norma ISO 14224 para la codificación y la caracterización de las fallas en los activos industriales.

Tabla 26.

Tabla de identificación de modos de fallas y funciones

Código	Equipos	Función	Componente	Modo de falla
EQ-001	Tolva de alimentación de sal de 20 m ³	Actúa como pulmón de carga, permitiendo regular el flujo hacia el alimentador vibrante, evitando interrupciones en el proceso.	Estructura metálica principal	Corrosión, desgaste por abrasión, deformación o agrietamiento estructural
			Estructura de soporte	Corrosión superficial, deformación y aflojamiento de estructura, fractura de pasamanos
			Compuerta de descarga	Atascamiento mecánico, fuga de material
			Rejilla	Atascamiento, deformación o rotura de malla, corrosión superficial
EQ-002	Captador magnético	Retira fragmentos metálicos presentes en la sal antes del ingreso al lavadero, protege los equipos de posibles daños mecánicos y previene la contaminación del producto.	Cubierta de protección	Fallo en cubierta de protección
			Bandeja	Corrosión superficial, deformación y aflojamiento de estructura, grietas por fatiga
EQ-003	Alimentador vibrante	Dosifica y regula el flujo de sal desde la tolva hasta el lavadero.	Estructura de soporte	Corrosión/aflojamiento de uniones
			Resortes	Fractura por fatiga, corrosión superficial, pérdida de elasticidad
			Templadores	Aflojamiento, desajuste o rotura
			Motor vibrador	Rodamientos, fallo eléctrico, corrosión
			Banda	Desgastes, desalineación

EQ-004	Cinta transportadora TC 650x14	Transporta la sal desde el alimentador vibrante hasta el lavadero.	Poleas Estructura de soporte Templador Rodillos Motor	Desgaste, desalineación Corrosión superficial, deformación Aflojamiento, desajuste o rotura Atascamiento, desgaste por abrasión Rodamientos, eléctrico, corrosión
EQ-005	Lavadero Tornillo sin fin	Ejecuta el proceso de lavado de sal por agitación mecánica y arrastre de agua, mientras que el tornillo sin fin mueve la sal en sentido longitudinal mientras el agua circula en contracorriente, removiendo impurezas.	Bandeja Estructura de soporte Acoplamiento Tornillo sin fin Canal de descarga Motor	Corrosión, deformación, grietas Corrosión superficial, deformación Desalineación, desgaste, aflojamiento Desgaste/atascamiento, deformación Obstrucción, fuga de material Rodamientos, fallo eléctrico, corrosión
EQ-006	Escurredor vibrante ESS 180 330	Separa el exceso de agua de la sal lavada mediante vibración mecánica, reduce la humedad superficial del producto antes de ser transportado.	Chasis vibrante Motor vibrador Templadores Resortes Rodamientos	Corrosión, rodamiento, fallo eléctrico Corrosión, desajuste o rotura Corrosión/fatiga/pérdida de elasticidad Fatiga, desgaste prematuro
EQ-007	Cinta transportadora TCP 650x18	Traslada la sal desde el escurrido vibrante hasta la otra cinta transportadora.	Estructura de soporte Banda Poleas Estructura de soporte Templador Rodillos Motor	Corrosión, deformación Desgastes, desalineación Desgaste, desalineación Corrosión superficial, deformación Aflojamiento, desajuste o rotura Atascamiento, desgaste por abrasión Rodamientos, eléctrico, corrosión
EQ-008	Cinta transportadora TCLG 650x30	Traslada la sal a las pilas de sal	Banda Poleas Estructura de soporte Templador Rodillos Motor	Desgastes, desalineación Desgaste, desalineación Corrosión superficial, deformación Aflojamiento, desajuste o rotura Atascamiento, desgaste por abrasión Rodamientos, eléctrico, corrosión
EQ-009	Bomba ZN 32/160	Mantiene un caudal, y transfiere agua según su requerimiento, para abastecer el proceso con agua natural salada.	Motor Carcasa Acoplamiento	Fallo por humedad Corrosión Fatiga/Ruptura/Desgaste
EQ-010	Bomba ZN 65/160	Mantiene un caudal y transfiere agua según su requerimiento, para abastecer el proceso con agua natural salada.	Motor Carcasa Acoplamiento	Fallo por humedad Corrosión Fatiga/Ruptura/Desgaste
EQ-011	Bomba ZN 80/160	Mantiene un caudal y transfiere agua según su requerimiento, para abastecer el proceso con agua natural salada.	Motor Carcasa Acoplamiento	Fallo por humedad Corrosión Fatiga/Ruptura/Desgaste

Nota: Elaborado por autor

En la información contenida en la Tabla 26, se detallan los códigos de los equipos, el nombre del equipo, la función que cumple dentro del proceso, junto con los componentes que fueron analizados, su estado por medio de la lista de verificación, en donde la realización de esta tabla permite establecer una base estructurada para la posterior cuantificación del riesgo por medio de la matriz AMEF. En esta etapa, aún no se asignan valores numéricos, ya que el enfoque es cualitativo, y se encuentra orientado a la comprensión funcional de los eventos de las fallas que más se representan por cada equipo. Esta etapa se considera esencial para poder asegurar un análisis posterior (matriz de criticidad y AMEF) respecto a las fallas relevantes, técnicamente justificadas y que se encuentran vinculadas directamente respecto al contexto operativo de la planta.

Análisis de Criticidad

En la Tabla 27 se muestra la justificación de la asignación de los valores a los puntajes de cada criterio, teniendo en cuenta que, por el sigilo de la información, no se usarán valores reales respecto a los costos de mantenimiento, y se usarán valores estimados respecto a otros estudios realizados en el área, cabe mencionar de igual manera que los puntajes asignados se realizaron con datos respecto al check list y al cuestionario realizado a los operarios y jefe.

Tabla 27.

Justificación de asignación de valores

JUSTIFICACIÓN DE ASIGNACIÓN DE VALORES			
Justificación de impacto sobre la producción de cada equipo (D)			
Código	Equipo	Puntaje	Justificación
EQ-001	Tolva de alimentación (20 m ³)	0,75	La tolva es el punto inicial del proceso su falla puede detener la alimentación de sal, afectando, directamente la producción.
EQ-002	Captador magnético	0,25	Su función es eliminar partículas metálicas su falla no detiene el proceso, pero puede afectar la calidad del producto.
EQ-003	Alimentador vibrador	0,75	Regula el flujo de sal hacia el proceso su falla puede causar interrupciones significativas.
EQ-004	Cinta transportadora TC 650x14	1	Esencial para el transporte su falla detiene completamente el proceso.
EQ-005	Lavadero Tornillo sin fin	1	Responsable de la limpieza de la sal su falla afecta directamente la calidad y continuidad del proceso.
EQ-006	Escurridor vibrante ESS 180/330	0,75	Reduce la humedad de sal su falla puede afectar la eficiencia del secado, pero no detiene el proceso.
EQ-007	Cinta transportadora TCP 650x18	1	Esencial para el transporte su falla detiene completamente el proceso.
EQ-008	Cinta transportadora TCLG 650x30	1	Esencial para el transporte su falla detiene completamente el proceso.
EQ-009	Bomba ZN 32/160	0,5	Parte del sistema de bombeo su falla puede ser compensada temporalmente, pero afecta la eficiencia.
EQ-010	Bomba ZN 65/160	1	Crítica para el suministro de agua en el proceso su falla detiene completamente la producción.
EQ-011	Bomba ZN 80/160	1	Crítica para el suministro de agua en el proceso su falla detiene completamente la producción.
Justificación de dependencia logística con respecto a los repuestos (E)			
Código	Equipo	Puntaje	Justificación
EQ-001	Tolva de alimentación (20 m ³)	2	Repuestos que se pueden conseguir localmente.
EQ-002	Captador magnético	2	Repuestos que se pueden conseguir localmente.
EQ-003	Alimentador vibrador	4	Equipos de vibración suelen tener motores o sistemas de transmisión importados o bajo pedido nacional.
EQ-004	Cinta transportadora TC 650x14	2	Componentes como bandas o rodamientos están disponibles localmente o en almacenes industriales regionales.
EQ-005	Lavadero Tornillo Sin Fin	3	El tornillo sinfin puede requerir fabricación o pedido a talleres especializados del país.
EQ-006	Escurridor vibrante ESS 180 330	4	Equipos de vibración suelen tener motores o sistemas de transmisión importados o bajo pedido nacional.
EQ-007	Cinta transportadora TCP 650x18	2	Componentes como bandas o rodamientos están disponibles localmente o en almacenes industriales regionales.
EQ-008	Cinta transportadora TCLG 650x30	2	Componentes como bandas o rodamientos están disponibles localmente o en almacenes industriales regionales.
EQ-009	Bomba ZN 32/160	2	Bombas estándar, pero de marca específica; podrían requerir pedido regional.
EQ-010	Bomba ZN 65/160	2	Bombas estándar, pero de marca específica; podrían requerir pedido regional.
EQ-011	Bomba ZN 80/160	2	Bombas estándar, pero de marca específica; podrían requerir pedido regional.
Justificación de costos de mantenimiento con costos estimativos (USD)			
Código	Equipo	Costos de mantenimiento	Puntaje
EQ-001	Tolva de alimentación (20 m ³)	1500	5
EQ-002	Captador magnético	500	3
EQ-003	Alimentador vibrador	1800	5
EQ-004	Cinta transportadora TC 650x14	700	3
EQ-005	Lavadero Tornillo sin fin	3000	10
EQ-006	Escurridor vibrante ESS 180/330	3000	10
EQ-007	Cinta transportadora TCP 650x18	700	3
EQ-008	Cinta transportadora TCLG 650x30	1500	5

EQ-009	Bomba ZN 32/160	900	3
EQ-010	Bomba ZN 65/160	900	3
EQ-011	Bomba ZN 80/160	900	3
Justificación de impacto ambiental (G)			
Código	Equipo	Puntaje	Justificación
EQ-001	Tolva de alimentación (20 m ³)	5	Genera polvo de sal al momento de carga.
EQ-002	Captador magnético	0	No tiene impacto ambiental.
EQ-003	Alimentador vibrador	5	Genera ruido constante que se transmite a la estructura.
EQ-004	Cinta transportadora TC 650x14	5	Puede liberar partículas de sal o generar derrames si está desalineada.
EQ-005	Lavadero Tornillo Sin Fin	10	Riesgo de vertidos salinos.
EQ-006	Escurridor vibrante ESS 180 330	10	Escurrimiento de salmuera y arrastre de sólidos al ambiente.
EQ-007	Cinta transportadora TCP 650x18	5	Puede liberar partículas de sal o generar derrames si está desalineada.
EQ-008	Cinta transportadora TCLG 650x30	5	Puede liberar partículas de sal o generar derrames si está desalineada.
EQ-009	Bomba ZN 32/160	5	Riesgo bajo, pero posible fuga de salmuera.
EQ-010	Bomba ZN 65/160	5	Riesgo bajo, pero posible fuga de salmuera.
EQ-011	Bomba ZN 80/160	5	Riesgo bajo, pero posible fuga de salmuera.
Justificación de impacto de salud y seguridad de personal (H)			
Código	Equipo	Puntaje	Justificación
EQ-001	Tolva de alimentación (20 m ³)	5	Riesgo de atrapamiento en compuerta.
EQ-002	Captador magnético	0	Nulo totalmente cerrado.
EQ-003	Alimentador vibrador	5	Alto nivel de ruido y vibración.
EQ-004	Cinta transportadora TC 650x14	5	Riesgo de atrapamiento en rodillos, puntos de corte, impacto de sal acumulada.
EQ-005	Lavadero Tornillo Sin Fin	10	Riesgo de atrapamiento severo en la helicoidales.
EQ-006	Escurridor vibrante ESS 180 330	10	Vibración intensa, riesgo de daño severo.
EQ-007	Cinta transportadora TCP 650x18	5	Riesgo de atrapamiento en rodillos, puntos de corte, impacto de sal acumulada.
EQ-008	Cinta transportadora TCLG 650x30	5	Riesgo de atrapamiento en rodillos, puntos de corte, impacto de sal acumulada.
EQ-009	Bomba ZN 32/160	5	Riesgo leve de mantenimiento.
EQ-010	Bomba ZN 65/160	5	Riesgo leve de mantenimiento.
EQ-011	Bomba ZN 80/160	5	Riesgo leve de mantenimiento.
Justificación de impacto en la calidad del producto final (I)			
Código	Equipo	Puntaje	Justificación
EQ-001	Tolva de alimentación (20 m ³)	25	Si existe corrosión o acumulación de residuos puede contaminar lotes de sal
EQ-002	Captador magnético	10	Si falla permite el paso de partículas metálicas.
EQ-003	Alimentador vibrador	25	Si hay exceso de vibración afecta lavado.
EQ-004	Cinta transportadora TC 650x14	5	Si se encuentra sucio o en mal estado, puede contaminar la sal transportada.
EQ-005	Lavadero Tornillo Sin Fin	25	Afecta directamente la limpieza de producto.
EQ-006	Escurridor vibrante ESS 180 330	25	Si falla, la sal sale con exceso de humedad.
EQ-007	Cinta transportadora TCP 650x18	5	Riesgo moderado por caída.
EQ-008	Cinta transportadora TCLG 650x30	25	Riesgo alto por la estructura hacia la pila de sal.
EQ-009	Bomba ZN 32/160	5	Si reduce caudal puede afectar al proceso.
EQ-010	Bomba ZN 65/160	5	Si reduce caudal puede afectar al proceso.
EQ-011	Bomba ZN 80/160	5	Si reduce caudal puede afectar al proceso.

Nota: Elaborado por autor

En la tabla anterior se muestra la valoración respecto a los diferentes criterios establecidos, de tal manera que se establece una base objetiva para calcular el índice de criticidad total de cada equipo. Esta información será consolidada y normalizada por medio de una matriz de criticidad multicriterio, que facilitará la jerarquización de los activos según su nivel de riesgo operacional y la urgencia de la intervención mediante las estrategias de mantenimiento, ya sea preventivo o correctivo.

En la Tabla 27 se consolidan los valores asignados a cada uno de los criterios definidos en el análisis de criticidad multicriterio, permitiendo una evaluación integral de los equipos a analizar. Cada equipo ha sido valorado con base en los criterios claves (A-K) mostrados en la Tabla 11;

además, se presentan dos columnas que son la frecuencia de fallas y el cálculo de la consecuencia total, cuyo producto genera el índice de criticidad, de tal manera que los cálculos se realizaron con la siguiente estructura, por ejemplo:

- La frecuencia de falla, que se obtiene en el punto B, se asignó el puntaje de 2, ya que sus parámetros son de 2 a 15 fallos en el intervalo establecido, y recopilado en el cuestionario realizado, y los registros de fallas de los equipos del año 2024.
- El cálculo de la consecuencia se determinó con la siguiente fórmula, en el caso de la tolva:

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

$$F = 5; \quad G = 5; \quad H = 5; \quad I = 25; \quad C = 2; \quad D = 0.75$$

$$\text{Consecuencia} = (5 + 5 + 5 + 25) + (2 * 0.75)$$

$$\text{Consecuencia} = 41.5$$

- El cálculo de criticidad se refiere al producto entre la frecuencia de la falla por la consecuencia; se puede expresar de la siguiente manera:

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

$$\text{Criticidad} = 2 * 41.5$$

$$\text{Criticidad} = 83$$

De tal manera que se logra obtener la criticidad, y se representa en la parte inferior de la Tabla 28, para luego realizar la priorización en base al diagrama de Pareto, usando la regla del 80-20 respecto a la criticidad de estos.

Tabla 28.

Matriz de criticidad de los equipos analizados

	Criterios Equipos	A	B	F. de fallas	C	D	E	F	G	H	I	J	K	Consecuencia	Criticidad
EQ-001	Tolva de alimentación (20 m ³)	2	2	11	2	0,75	2	5	5	5	25	1	4	41,5	83
EQ-002	Captador Magnético	2	1	0	2	0,25	2	3	0	0	10	3	4	13,5	13,5
EQ-003	Alimentador vibrador	2	2	11	2	0,75	4	5	5	5	25	3	4	41,5	83
EQ-004	Cinta transportadora TC 650x14	2	2	8	2	1	2	3	5	5	5	2	4	20	40
EQ-005	Lavadero Tornillo sin fin	2	3	16	2	1	3	10	10	10	25	2	4	57	171
EQ-006	Escurreidor vibrante ESS 180/330	2	2	15	2	0,75	4	10	10	10	25	3	4	56,5	113
EQ-007	Cinta transportadora TCP 650x18	2	2	5	2	1	2	3	5	5	5	3	4	20	40
EQ-008	Cinta transportadora TCLG 650x30	2	2	15	2	1	2	5	5	5	25	3	4	42	84
EQ-009	Bomba ZN 32/160	2	2	13	2	0,5	2	3	5	5	5	2	4	19	38

EQ-010	Bomba ZN 65/160	2	2	6	2	1	2	3	5	5	5	2	4	20	40
EQ-011	Bomba ZN 80/160	2	2	11	2	1	2	3	5	5	5	2	4	20	40

Nota: Elaborado por autor

En la Tabla 28, se muestran los resultados del nivel de criticidad de los equipos, donde con la ayuda del diagrama de Pareto y la regla del 80-20 se pueden determinar los equipos críticos para realizar el análisis del AMEF (análisis modal de fallas y efectos), de igual manera, en la Tabla 29 se muestra la jerarquización de la tabla de contenido de Pareto, sumando todos los niveles de criticidad, y representándolos en porcentaje y porcentaje acumulado.

Tabla 29.

Niveles de criticidad por equipo

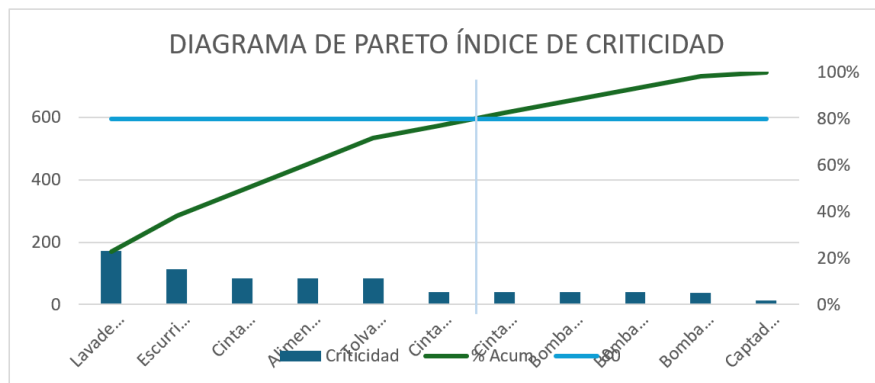
Código	Equipos	Criticidad	%	% Acumulado	80
EQ-005	Lavadero Tornillo sin fin	171	23%	23%	80%
EQ-006	Escurreidor vibrante ESS 180/330	113	15%	38%	80%
EQ-008	Cinta transportadora TCLG 650x30	84	11%	49%	80%
EQ-003	Alimentador vibrador	83	11%	60%	80%
EQ-001	Tolva de alimentación (20 m ³)	83	11%	71%	80%
EQ-004	Cinta transportadora TC 650x14	40	5%	77%	80%
EQ-007	Cinta transportadora TCP 650x18	40	5%	82%	20%
EQ-010	Bomba ZN 65/160	40	5%	88%	20%
EQ-011	Bomba ZN 80/160	40	5%	93%	20%
EQ-009	Bomba ZN 32/160	38	5%	98%	20%
EQ-002	Captador Magnético	27	2%	100%	20%
	SUMATORIA	702			

Nota: Elaborado por autor

En la Tabla 29, se pudo determinar que los equipos críticos del área de lavado son: el lavadero tornillo sin fin, escurrador vibrante, la cinta transportadora TCLG 650x30 y TC 650x14, alimentador vibrante y la tolva de alimentación, las cuales se ven representadas en el diagrama de Pareto en la Figura 19. Donde se grafican los datos de la tabla anterior, se indica el grado de criticidad de cada equipo en las barras azules la curva de color verde indica el porcentaje acumulado de la criticidad, y la línea de color celeste representa el 80-20.

Es importante mencionar que la superposición de las dos líneas crea un punto de división marcado con una línea celeste; esta línea indica que los equipos a la izquierda se consideran más críticos y requieren atención inmediata. Por lo tanto, estos equipos serán prioritarios en nuestro plan de mantenimiento. En cambio, los equipos a la derecha de esta línea son menos críticos y necesitan atención, pero en menor medida.

Figura 19.
Diagrama de Pareto



Nota: Elaborado por autor

En la Figura 19 se muestra que Lavadero Tornillo sin fin, escurridor vibrante ESS 180/330, cinta transportadora TCLG 650x30, alimentador vibrador, tolva de alimentación (20 m³) y cinta transportadora TC 650x14 son los equipos más críticos que se analizarán dentro del aparato de análisis de modo de fallas y efectos (AMEF). Por otro lado, la bomba ZN 65/160, bomba ZN 80/160, bomba ZN 32/160, cinta transportadora TCP 650x18 y captador magnético se consideran equipos de baja criticidad.

Análisis de modos de fallas y efectos (AMEF)

El diseño del análisis de modos y efectos de falla (AMEF) constituye una herramienta fundamental que orienta a la identificación y evaluación de los distintos modos de fallas que pueden presentarse en los componentes de un sistema o equipo. El proceso se desarrolla siguiendo una secuencia estructurada que abarca la identificación del equipo, sus funciones, fallas y modos de fallas, y los efectos que estos generan sobre la operación, lo que permite anticiparse a los problemas y garantizar la continuidad de los procesos productivos (Andrade-Solórzano & Herrera-Suárez, 2021).

En la Tabla 30 se describe, y se diseña el AMEF para el primer equipo crítico, que es el EQ-005 Lavadero tornillo sin fin, donde se describe tanto el modo de falla, la causa, el efecto, los métodos de detección, los criterios de severidad, ocurrencia y detección, para calcular el número de prioridad de riesgo (NPR) establecidos con colores, que facilita la jerarquización de las fallas en función del impacto operativo, ya que se desea establecer acciones de carácter preventivo que orienten para los componentes más vulnerables del sistema.

Tabla 30.

EQ-005 Lavadero Tornillo sin fin (AMEF)

Análisis Modal de Fallos y Efectos (A.M.F.E)													
Tipo de AMEF:		Equipo:		Lavadero Tornillo Sin fin L56 pulg				Fecha: 21/5/2025				Hoja 1 de 6	
Proceso x Diseño		Código:		EQ-005		Revisión:		Lavado de sal 1		Preparado por: Mario David Tumbaco España		Acciones recomendadas	Responsable
Código	Pieza o componente	Descripción y función del elemento	Modo potencial/es del fallo	Causa potencial/es del fallo	Efecto potencial/es del fallo	Método de detección	Situación Actual				N.C	Inspección periódica (niveles de corrosión), limpieza y secado regular.	Inspección periódica (soldadura y uniones), reemplazo de componentes dañados.
							S	O	D	NPR			
EQ-005 - BA	Bandeja	Contener el material durante el proceso de transporte y lavado, evitando derrames y facilitando el drenaje de líquidos hacia los sistemas de escurrimiento.	Corrosión superficial	Exposición prolongada a salinidad (salmuera)	Debilitamiento estructural; contaminación.	Inspección visual (manchas de óxido, picaduras)	6	4	2	48	NO DESEABLE	Inspección periódica (niveles de corrosión), limpieza y secado regular.	Inspección periódica (soldadura y uniones), reemplazo de componentes dañados.
			Deformación y aflojamiento de estructura	Impacto mecánico (vibraciones o fatiga del material)	Detención y daños de equipos, riesgo al personal, fugas de líquido.	Inspección visual (grietas, abolladuras, desalineación)	4	5	3	60	NO DESEABLE	Inspección periódica (soldadura y uniones), reemplazo de componentes dañados.	
			Grietas por fatiga	Ciclos de fatiga repetitiva	Fractura de componentes.	Inspección visual (grietas, cambio de color de material)	2	2	5	20	NO DESEABLE	Inspección periódica (componentes).	
EQ-005 - ES	Estructura de soporte	Conjunto de elementos estructurales diseñados para soportar el peso total del equipo y resistir las cargas dinámicas generadas durante el funcionamiento.	Corrosión superficial	Exposición prolongada a salinidad (salmuera)	Debilitamiento estructural, fallo	Inspección visual (manchas de óxido, picaduras)	7	9	4	252	NO DESEABLE	Inspección periódica (niveles de corrosión), limpieza regular.	Inspección periódica (soldadura y uniones), reemplazo de componentes dañados
			Deformación y aflojamiento de estructura	Impacto mecánico (Vibraciones o fatiga del material)	Desalineación equipo, fallos de componentes, fisuras, parada de equipo.	Inspección visual (grietas, abolladuras, desalineación)	7	2	2	28	NO DESEABLE	Inspección periódica (soldadura y uniones), reemplazo de componentes dañados	
			Desalineación	Impacto mecánico (Vibraciones)/Desgaste de rodamientos o soporte	Aumento de vibraciones, fatiga del eje o fallo del motor o rodamientos.	Inspección visual (movimiento excesivo, fugas) o ruidos anómalos	8	3	3	72	NO DESEABLE	Inspección periódica (fijación del motor y soportes), monitoreo de vibraciones.	
EQ-005 - AC	Acoplamientos	Elementos mecánicos que conectan el eje del motor con el eje de transmisión del tornillo sin fin en conjunto con la banda.	Desgaste de pieza	Impacto mecánico (Fatiga del material)	Aumento de ruido y vibraciones.	Inspección visual (grietas, roturas, desgastes de piezas), ruidos anómalos, vibraciones	8	4	4	128	NO DESEABLE	Inspección periódica (pernos), reemplazo de componentes programada, lubricación adecuada si aplica.	Inspección periódica (pernos), monitoreo de vibraciones.
			Aflojamiento de elementos	Impacto mecánico (Vibración o fatiga del material)	Aumento de ruido y vibraciones, daños al eje, paro de equipo.	Inspección visual (pernos flojos), ruidos y vibraciones	7	8	7	392	NO DESEABLE	Inspección periódica (pernos), monitoreo de vibraciones.	
			Desgaste por abrasión	Contacto constante y fricción con el material, velocidad excesiva del tornillo	Reducción del diámetro de las paletas	Inspección visual (adelgazamiento de las paletas, brillos en zonas de desgaste)	7	4	4	112	NO DESEABLE	Inspección periódica (canal y eje), reemplazo planificado.	
EQ-005 - TSF	Tornillo sin fin	Eje helicoidal de paso uniforme construido en acero resistente a la abrasión cuya función es transportar la sal mediante rotación.	Atascamiento o desbalanceo del tornillo	Acumulación irregular de la sal, ingreso de sólidos duros	Aumento de ruido y vibraciones, daños a los ejes, paro de equipo.	Inspección visual (oscilación), vibraciones	8	3	2	48	NO DESEABLE	Inspección periódica (eje y paleta), limpieza regular del tornillo, monitoreo de vibraciones.	Inspección periódica (eje), limpieza regular.
			Deformación o agrietamiento del eje de transmisión	Sobrecarga o desalineación	Vibraciones, riesgo de rotura.	Inspección visual, vibraciones	6	8	6	288	NO DESEABLE	Inspección periódica (eje), limpieza regular.	
			Obstrucción o atasco	Acumulación irregular de la sal, ingreso de sólidos duros	Reducción o interrupción del flujo del material, acumulación de la sal en el tornillo, paro de equipo.	Inspección visual (Acumulación de material), ruidos animales	8	2	2	32	NO DESEABLE	Inspección periódica (canal), limpieza regular.	
EQ-005 - CD	Canal de descarga	Conducto cerrado o semicerrado que recoge el material procesado desde el extremo de salida del tornillo sin fin, dirigiéndolo hacia la siguiente etapa.	Fuga de material	Impacto mecánico (Agrietamiento, desgaste por corrosión),	Pérdida de sal, contaminación del área, riesgo operativo (resbalones o caídas),	Inspección visual (material derramado,	6	6	2	72	NO DESEABLE	Inspección periódica (canal y uniones), reparación inmediata de grietas o perforaciones.	

EQ-005 - MO	Motor	Motor eléctrico trifásico de acoplamiento directo, encargado de generar el torque necesario para el accionamiento del sistema helicoidal.	Fallo de rodamientos del motor	vibraciones, desalineación Impacto mecánico (fatiga), falta o inadecuada lubricación	daño a componentes eléctricos o mecánicos. Sobrecalentamiento. del motor, aumento de consumo de corriente, paro del motor.	manchas de humedad, goteos)	Inspección visual	8	8	6	384	NO DESEABLE	Inspección periódica (vibraciones), programa de lubricación.
			Fallo eléctrico (bobinado/cortocircuito)	Impacto mecánico (Humedad, sobrecarga eléctrica, envejecimiento de aislamiento (cables))	Paro del motor, sobrecalentamiento.	Inspección visual (conexiones, ventilación)	8	3	5	120	NO DESEABLE	Inspección periódica (fusibles, relés, sistema de control), limpieza regular.	
			Corrosión superficial	Exposición prolongada a salinidad y humedad	Deterioro de la carcasa, fallo de conexiones eléctricas.	Inspección visible (óxido, descaramiento de pintura)	7	6	2	84	NO DESEABLE	Inspección periódica (carcasa, conexiones), limpieza regular.	

Nota: Elaborado por autor

En la Tabla 30 se evidencia que los modos de fallas más críticos del lavadero tornillo sin fin son: en la estructura de soporte que presentan corrosión superficial que presenta un NPR de 252, también los acoplamientos que presenta aflojamiento de elementos con 392, el tornillo sin fin que presenta la deformación o agrietamiento del eje de transmisión con 288, y al final el motor que presenta fallo en rodamientos con 384.

De igual manera, en la Tabla 31 se describe y se diseña el AMEF para el segundo equipo crítico, que es el EQ-006-Escurreidor vibrante ESS/180/330, donde se describe tanto el modo de falla, la causa, el efecto, los métodos de detección, los criterios de severidad, ocurrencia y detección, para calcular el número de prioridad de riesgo (NPR) establecidos con colores, que facilita la jerarquización de las fallas en función del impacto operativo, ya que se desea establecer acciones de carácter preventivo que orienten para los componentes más vulnerables del sistema.

Tabla 31.

EQ-006 Escurreidor vibrante ESS180/330 (AMEF)

Análisis Modal de Fallos y Efectos (A.M.F.E)													
Tipo de AMEF:		Equipo:	Escurreidor vibrante ESS180/330										
Proceso x Diseño		Código:	EQ-006		Revisión:	Lavado de sal 1	Fecha: Preparado por: 21/5/2025	Situación Actual			Mario David Tumbaco España	Hoja 2 de 6	
Código	Pieza o componente	Descripción y función del elemento	Modo potencial/es del fallo	Causa potencial/es del fallo	Efecto potencial/es del fallo	Método de detección	S	O	D	NPR	N.C	Acciones recomendadas	Responsable
EQ-006 - MV	Motor vibrador	Motor eléctrico trifásico de acoplamiento directo, encargado en convertir la energía eléctrica en mecánica rotacional para accionar el sistema de vibración mediante un eje o transmisión por correas.	Fallo de rodamientos del motor	Impacto mecánico del material), falta o inadecuada lubricación	Vibraciones severas, ruido excesivo, aumento de consumo de corriente, paro de motor, aumento de temperatura.	Inspección visual (vibración)	8	8	7	448	NO DESEABLE	Inspección periódica (vibraciones), programa de lubricación	
			Fallo eléctrico (bobinado/cortocircuito)	Impacto mecánico (Humedad, sobrecarga eléctrica,	Paro de motor, sobrecalentamiento.	Inspección visual (conexiones, ventilación)	8	5	6	240	NO DESEABLE	Inspección periódica (fusibles, relés, sistema de control), limpieza regular	

EQ-006 -RE	Resortes	Elementos mecánicos que absorben y restituyen la energía de las vibraciones, permiten el movimiento controlado del chasis.	Fallos por envejecimiento de aislamiento (cables)	Fallo por corrosión superficial	Exposición prolongada a salinidad y humedad	Deterioro de la carcasa, fallo de conexiones eléctricas.	Inspección visual (óxido, descaramiento de pintura)	7	6	2	84	NO DESEABLE	Inspección periódica (carcasa, conexiones), limpieza regular
			Fallos por fractura por fatiga	Exposición a ciclos repetitivos, corrosión	Pérdida de capacidad de absorción, vibraciones descontroladas, daño a otros componentes, riesgo de seguridad.	Inspección visual (grietas, rotura, cambios de altura o forma)	9	3	2	54	NO DESEABLE	Inspección periódica (estado actual)	
			Fallos por corrosión superficial	Exposición a ambiente salino, falta de recubrimiento	Debilitamiento estructural, posible rotura.	Inspección visual (corrosión)	7	6	2	84	NO DESEABLE	Inspección periódica (niveles corrosión), limpieza regular	
			Fallos por pérdida de capacidad elástica	Sobrecarga prolongada, impacto mecánico (fatiga)	Disminución de la amplitud de vibración, ruido.	Inspección visual (cortos o deformados)	4	6	3	72	NO DESEABLE	Inspección periódica (estado actual), reemplazo preventivo	
EQ-006 -CV	Chasis vibrante	Estructura móvil se apoya el tamiz o área de escurrido. Transmite la vibración hacia la sal.	Fallos por agrietamiento o fractura de chasis	Impacto mecánico del material, corrosión	Posible colapso del chasis, ruido, riesgo de seguridad.	Inspección visual (grietas de soldadura, uniones)	8	3	2	48	NO DESEABLE	Inspección periódica (grietas de soldadura, uniones)	
			Fallos por desgaste por abrasión o corrosión superficial	Contacto constante con el material, exposición prolongada a salinidad y humedad	Adelgazamiento de chasis, perforaciones, fugas de material, contaminación, debilitamiento estructural.	Inspección visual (adelgazamiento, manchas de óxidos, perforaciones)	7	6	2	84	NO DESEABLE	Inspección periódica (niveles de corrosión), limpieza regular	
EQ-006 -RO	Rodamientos	Permiten el giro suave del eje de transmisión del sistema vibrante, reducen la fricción y desgaste.	Fallos por fatiga del material	Impacto mecánico (fatiga), falta o inadecuada de lubricación, corrosión	Aumento de temperatura, daño al eje, paro de equipo.	Inspección visual (solo al desmontar)	7	5	4	140	NO DESEABLE	Inspección periódica (estado actual), programa de lubricación	
			Fallos por desgaste prematuro	Inadecuada de lubricación	Intervalos de lubricación incorrectos.	Inspección visual (sellos y fugas)	8	4	4	128	NO DESEABLE	Inspección periódica (estado actual), programa de lubricación	
EQ-006 -TE	Templadores	Elementos tensión utilizados para asegurar el ajuste correcto de elementos vibrantes.	Fallos por aflojamiento o pérdida de tensión	Impacto mecánico (Vibraciones o fatiga del material)	Pérdida de tensión, daño a la estructura o rodamientos.	Inspección visual y auditiva (templadores flojos)	6	5	3	90	NO DESEABLE	Inspección periódica (tensión)	
			Fallos de desajuste o rotura	Impacto mecánico (fatiga del material), corrosión	Pérdida completa de tensión o estabilización, riesgo de seguridad.	Inspección visual (templador roto o agrietado)	9	8	5	360	NO DESEABLE	Inspección periódica (estado actual), reemplazo preventivo	
EQ-006 -ES	Estructura de soporte	Conjunto de elementos estructurales diseñados para soportar el peso total del equipo y resistir las cargas dinámicas generadas durante el funcionamiento.	Fallos por corrosión superficial	Exposición prolongada a salinidad (salmuera)	Debilitamiento estructural, fallo estructural.	Inspección visual (manchas de óxido, picaduras)	9	8	4	288	NO DESEABLE	Inspección periódica (niveles de corrosión), limpieza regular	
			Fallos por deformación y aflojamiento de estructura	Impacto mecánico (Vibraciones o fatiga del material)	Desalineación equipo, fallos de componentes, fisuras, parada de equipo.	Inspección visual (grietas, abolladuras, desalineación)	7	8	2	112	NO DESEABLE	Inspección periódica (soldadura y uniones), reemplazo de componentes dañados	

Nota: Elaborado por autor

En la Tabla 31 se evidencia que los modos de fallas más críticos del escurrido vibrante los cuales son: en el motor vibrador que presenta fallo en rodamientos del motor con NPR 448, luego en los templadores que presenta fallo de desajuste o rotura con 360, y finalmente en la estructura de soporte que presenta corrosión superficial con 288.

De igual manera, en la Tabla 32 se describe y se diseña el AMEF para el tercer equipo crítico, que es el EQ-008-Cinta transportadora TCLG650x30, donde se describe tanto el modo de falla, la causa, el efecto, los métodos de detección, los criterios de severidad, ocurrencia y detección, para calcular el número de prioridad de riesgo (NPR) establecidos con colores, que facilita la jerarquización de las fallas en función del impacto operativo, ya que se desea establecer acciones de carácter preventivo que orienten para los componentes más vulnerables del sistema.

Tabla 32.

EQ-008 Cinta transportadora TCLG 650x30 (AMEF)

Análisis Modal de Fallos y Efectos (A.M.F.E)													
Tipo de AMEF:		Equipo:	Cinta transportadora TCLG 650x30			Área:	Lavado de sal	Fecha:				21/5/2025	
Proceso x Diseño		Código:	EQ-008			Revisión:	1	Preparado por:				Mario David Tumbaco España	
Código	Pieza o componente	Descripción y función del elemento	Modo potencial/es del fallo	Causa potencial/es del fallo	Efecto potencial/es del fallo	Método de detección	Situación Actual				N.C	Acciones recomendadas	Responsable
							S	O	D	NPR			
EQ-008 -BA	Banda	Elemento flexible que transporta el material mediante la tracción.	Fallo por desgaste por abrasión o corte	Impacto mecánico (contacto con material), Tensión incorrecta	Reducción de la banda, grietas, perforaciones, derrames de material.	Inspección visual (adelgazamiento, cortes, grietas, rasgaduras, derrames)	8	9	6	432	NO DESEABLE	Inspecciones periódicas (cortes, desgaste), limpieza regular	Hoja 3 de 6
			Fallo por desalineación	Desgaste de poleas o rodillos, tensión incorrecta, impacto lateral, estructura de soporte deformado	Desgaste prematuro de bordes, derrames de material, posible paro de banda.	Inspección visual (banda no centrada, roce, desgaste, derrames, rodillos)	6	3	6	108	NO DESEABLE	Inspección visual (alineación, poleas, rodillos), limpieza regular	
EQ-008 -PO	Poleas	Componentes circulares que transmiten fuerza a la banda mediante fricción, permitiendo su desplazamiento continuo.	Fallo por desgaste superficial	Impacto mecánico (contacto con materia, deslizamiento), falta de limpieza	Pérdida de fricción de la banda, desgaste de banda, ruido, daño a la banda, posible parada de equipo.	Inspección visual (superficie lisa), deslizamiento de la banda, monitoreo de tensión	8	8	7	448	NO DESEABLE	Inspección periódica (tensión, superficie, deslizamiento)	
			Fallo por desalineación	Impacto mecánico (desgaste)	Desgaste irregular de la banda.	Inspección visual (desgaste)	6	4	7	168	NO DESEABLE	Inspección periódica (desgaste)	
EQ-008 -ES	Estructura de soporte	Conjunto de elementos estructurales diseñados para soportar el peso total del equipo y resistir las cargas dinámicas generadas durante el funcionamiento.	Corrosión superficial	Exposición prolongada a salinidad (salmuera)	Debilitamiento estructural, fallo estructural.	Inspección visual (manchas de óxido, picaduras)	8	9	4	288	NO DESEABLE	Inspección periódica (niveles de corrosión), limpieza regular	
			Deformación y aflojamiento de estructura	Impacto mecánico (Vibraciones o fatiga del material)	Desalineación equipo, fallos de componentes, fisuras, parada de equipo.	Inspección visual (grietas, abolladuras, desalineación)	4	4	5	80	NO DESEABLE	Inspección periódica (soldadura y uniones), reemplazo de componentes dañados	
EQ-008 -TE	Templador	Elementos tensión utilizados para asegurar el ajuste correcto de elementos.	Fallo por aflojamiento o pérdida de tensión	Impacto mecánico (Vibraciones o fatiga del material)	Pérdida de tensión, daño a la estructura o rodamientos.	Inspección visual (templadores flojos)	4	6	4	96	NO DESEABLE	Inspección periódica (tensión)	
			Fallo de desajuste o rotura	Impacto mecánico (fatiga del material), corrosión	Pérdida completa de tensión o estabilización, riesgo de seguridad.	Inspección visual (templador roto o agrietado)	8	8	7	448	NO DESEABLE	Inspección periódica (estado actual), reemplazo preventivo	
EQ-008 -MO	Motor	Motor trifásico, que convierte la energía eléctrica mecánica de rotación para accionar el sistema transportador.	Fallo de rodamientos del motor	Impacto mecánico (fatiga del material), falta o inadecuada lubricación	Vibraciones severas, ruido excesivo, aumento de consumo de corriente, paro de motor.	Inspección (vibración)	7	4	3	84	NO DESEABLE	Inspección periódica (vibraciones),	

EQ-008 -RO	Rodillos	Rodillos cilíndricos que soportan la banda a lo largo de su recorrido, permitiendo suabe y reduciendo la fricción	Fallo eléctrico (bobinado/cortocircuito)	Impacto mecánico (humedad, sobrecarga eléctrica, envejecimiento de aislamiento (cables))	Paro de motor, sobrecalentamiento.	Inspección visual (conexiones, ventilación)	8	5	6	240	NO DESEABLE	programa de lubricación Inspección periódica (fusibles, relés, sistema de control), limpieza regular
			Fallo por corrosión superficial	Exposición prolongada a salinidad y humedad	Deterioro de la carcasa, fallo de conexiones eléctricas.	Inspección visual (óxido, descaramiento de pintura)	6	8	2	96	NO DESEABLE	Inspección periódica (carcasa, conexiones), limpieza regular
			Fallo por atascamiento del rodamiento	Falta de lubricación o inadecuada	Ruido excesivo, aumento de fricción, desgaste o corte de banda.	Inspección visual (rodillos), ruidos anómalos	8	3	2	48	NO DESEABLE	Inspección periódica (rodillos), programa de lubricación
			Fallo por desgaste por abrasión de la superficie	Abrasión por partícula de sal, contacto constante con sal	Reducción del diámetro del rodillo, pérdida de uniformidad de banda, desalineación bandas, daño a la banda.	Inspección visual (superficie irregular, adelgazamiento, desalineación)	5	6	3	90	NO DESEABLE	Inspección periódica (rodillos), limpieza regular

Nota: Elaborado por autor

En la Tabla 32 se evidencia los modos de fallas más críticos de la cinta transportadora TCLG 650x30 los cuales son: La banda que presentan un modo de falla de desgaste por abrasión o corte con un NPR de 432, así mismo en las poleas que presenta un desgaste superficial con 448, también en la estructura de soporte que presenta corrosión superficial con 288, y finalmente en los templadores que presentan fallo de desajuste o rotura con 448.

De igual manera, en la Tabla 33 se describe y se diseña el AMEF para el cuarto equipo crítico que es el EQ-003 alimentador vibrante, donde se describe tanto el modo de falla, la causa, el efecto, los métodos de detección, los criterios de severidad, ocurrencia y detección, para calcular el número de prioridad de riesgo (NPR) establecidos con colores, que facilita la jerarquización de las fallas en función del impacto operativo, ya que se desea establecer acciones de carácter preventivo que orienten para los componentes más vulnerables del sistema.

Tabla 33.

EQ-003 Alimentador vibrador (AMEF)

Análisis Modal de Fallos y Efectos (A.M.F.E)													
Tipo de AMEF:		Equipo:	Alimentador vibrador					Fecha:	21/5/2025			Hoja 4 de 6	
Proceso	x	Diseño	EQ-003		Área:	Lavado de sal	Preparado	Mario David Tumbaco España			Responsable		
Código	Pieza o componente	Descripción y función del elemento	Modo potencial/es del fallo	Causa potencial/es del fallo	Efecto potencial/es del fallo	Método de detección	S	O	D	NPR	N.C	Acciones recomendadas	
EQ-003 -BA	Bandeja	Superficie vibratoria metálica por donde se desplaza la sal, su geometría	Fallo por superficial	Corrosión	Exposición prolongada a salinidad (salmuera)	Debilitamiento estructural; contaminación	Inspección visual (manchas de óxido, picaduras)	6	5	2	60	NO DESEABLE	Inspección periódica (niveles de corrosión),

En la Tabla 33 se evidencia los modos de fallas más críticos del alimentador vibrante, los cuales son: La bandeja presenta un modo de falla de grietas por fatiga que posee un NPR de 256; de igual manera, en la estructura de soporte se presenta deformación o aflojamiento de estructura con 256, también en el motor vibrador que presentan corrosión superficial con 320, y finalmente los templadores que presenta desajuste o rotura con 256.

Así mismo, en la Tabla 34 se describe y se diseña el AMEF para el quinto equipo crítico que es el EQ-001, tolva de alimentación, donde se describe tanto el modo de falla, la causa, el efecto, los métodos de detección, los criterios de severidad, ocurrencia y detección, para calcular el número de prioridad de riesgo (NPR) establecidos con colores, que facilita la jerarquización de las fallas en función del impacto operativo, ya que se desea establecer acciones de carácter preventivo que orienten para los componentes más vulnerables del sistema.

Tabla 34.

EQ-001 Tolva de alimentación (20 m³) (AMEF)

		Tipo de AMEF:		Equipo:	Análisis Modal de Fallos y Efectos (A.M.F.E)					21/5/2025		Hoja 5 de 6			
		Proceso	X	Diseño	Tolva de alimentación (20 m³)	Área:	Lavado de sal	Fecha:	Preparado por:		Mario David Tumbaco España				
Código	Pieza o componente	Descripción y función del elemento			EQ-001	Revisión:	1	Situación Actual		N.C		Acciones recomendadas	Responsable		
					Modo potencial/es del fallo	Causa potencial/es del fallo	Efecto potencial/es del fallo	Método de detección	S	O	D	NPR			
EQ-001 -EM	Estructura metálica principal (Chasis)	Recipiente de acero estructural diseñado para recibir y almacenar temporalmente la sale a granel, permitiendo su alimentación controlada hacia procesos posteriores.			Falla de desgaste por abrasión	Contacto constante y fricción con material abrasivo	Adelgazamiento de paredes de tolva, perforaciones, grietas, figas de material, necesidad de reparación.	Inspección visual (adelgazamiento, agujeros, perforaciones)	4	3	2	24	NO DESEABLE	Inspección periódica (adelgazamiento, perforaciones), reparación en zonas de desgaste	
					Fallo por corrosión superficial	Exposición prolongada a salinidad, ambiente corrosivo	Deterioro del material metálico de la tolva, debilitamiento estructural, perforaciones y fugas del material.	Inspección visual (óxido, picaduras, pérdida de pintura)	7	5	2	70	NO DESEABLE	Inspección periódica (niveles de corrosión, óxido, perforaciones), limpieza regular	
					Fallo por deformación o agrietamiento estructural	Impacto mecánico (vibraciones o sobrecarga)	Pérdida de forma de tolva, reducción de capacidad, fugas, colapso de estructura	Inspección (grietas, dobleces)	4	2	3	24	NO DESEABLE	Inspección periódica (soldaduras y uniones); control de carga máxima	
EQ-001 -CD	Compuerta de descarga	Mecanismo articulado encargado de liberar el flujo de material desde la tolva hacia el alimentador, regulando el caudal.			Fallo por atascamiento mecánico	Acumulación de sal o suciedad, corrosión de partes móviles	Interrupción del flujo de sal, parada de alimentación, daño al mecanismo de descarga.	Inspección (acumulaciones)	7	2	6	84	NO DESEABLE	Inspección periódica (deformaciones o corrosión, acumulación), limpieza regular	
					Fallo de fuga de material	Desgaste o daño de los sellos, corrosión o deformación de compuerta ajuste incorrecto	Pérdida de material, contaminación de área, riesgo de resbalones y caídas, acumulación de sal.	Inspección visual (material derramado, goteo), monitoreo de material	7	5	2	70	NO DESEABLE	Inspección periódica (sellos, desgaste) limpieza regular, reparación de deformaciones o corrosión en compuerta	

EQ-001 -RT	Rejilla de tolva	Rejilla metálica que filtra piedra, objetos grandes y otros contaminantes que afectarían el sistema.	Fallo por atascamiento u obstrucción de material	Acumulación excesiva	Reducción o interrupción del flujo de material.	Inspección visual (acumulación sobre rejilla)	7	3	3	63	NO DESEABLE	Inspección periódica (cantidad máxima), limpieza regular
			Fallo por deformación o rotura de malla	Impacto mecánico (corrosión, fatiga)	Paso de objetos al proceso que ocasionaría daño a otros equipos, ineficiencia en el proceso de filtrado.	Inspección visual (huecos, barras rotas)	8	8	6	384	NO DESEABLE	Inspección periódica (integridad de barras y soldadura), reparación o reemplazo de barras dañadas
			Fallo por corrosión superficial	Exposición prolongada a salinidad, ambiente corrosivo	Debilitamiento de malla, eventual rotura o fallo.	Inspección visual (óxido, picaduras, pérdida de material)	7	6	4	168	NO DESEABLE	Inspección periódica (nivel de picaduras), limpieza regular
EQ-001 -ES	Estructura de soporte	Conjunto de elementos estructurales diseñados para soportar el peso total del equipo y resistir las cargas dinámicas generadas durante el funcionamiento.	Corrosión superficial	Exposición prolongada a salinidad (salmuera)	Debilitamiento estructural, fallo estructural.	Inspección visual (manchas de óxido, picaduras)	6	6	4	144	NO DESEABLE	Inspección periódica (nivel de corrosión), limpieza regular
			Deformación y aflojamiento de estructura	Impacto mecánico (Vibraciones o fatiga del material)	Desalineación equipo, fallos de componentes, fisuras, parada de equipo.	Inspección visual (grietas, abolladuras, desalineación)	6	5	2	60	NO DESEABLE	Inspección periódica (estado actual), reemplazo preventivo
			Fractura o rotura de pasamanos o soporte	Corrosión severa, sobrecarga por uso o abuso, soldadura deficiente	Riesgo inminente de caída para el personal, incapacidad de acceder a la tolva.	Inspección visual (fisuras, roturas, corrosión, deformación)	9	8	4	288	NO DESEABLE	Inspección periódica (pasamanos, plataformas y fijaciones), reparación o reemplazo de cualquier soporte dañado

Nota: Elaborado por autor

En la Tabla 34 se evidencia que los modos de fallas más críticos de la tolva de alimentación los cuales son: en la rejilla de tolva que presenta un modo de falla por deformación o rotura de malla, quien posee un NPR alto de 384; también en la estructura de soporte se presenta fractura o rotura de pasamanos o soporte, quien de igual manera posee un NPR alto de 288.

Así mismo en la Tabla 35 se describe y se diseña el AMEF para el sexto equipo crítico que es el EQ-004 Cinta Transportadora TC 650x14, donde se describe tanto el modo de falla, la causa, el efecto, los métodos de detección, los criterios de severidad, ocurrencia y detección, para calcular el número de prioridad de riesgo (NPR) establecidos con colores, que facilita la jerarquización de las fallas en función del impacto operativo, ya que se desea establecer acciones de carácter preventivo que orienten para los componentes más vulnerables del sistema.

Tabla 35.

EQ-004 Cinta transportadora TC 650x14 (AMEF)

Análisis Modal de Fallos y Efectos (A.M.F.E)													
Tipo de AMEF:		Equipo:	Cinta transportadora TC 650x14 (Fecha:		21/5/2025				
Proceso	x	Diseño	EQ-004		Revisión:	I		Preparado por:		Mario David Tumbaco España		Hoja 6 de 6	
Código	Pieza o componente	Descripción y función del elemento		Modo potencial/es del fallo	Causa potencial/es del fallo	Efecto potencial/es del fallo	Método de detección	Situación Actual			Acciones recomendadas	Responsable	
								S	O	D	NPR	N.C	

EQ-004-BA	Banda	Elemento flexible que transporta el material mediante la tracción.	Fallo por desgaste por abrasión o corte	Impacto mecánico (contacto con material), Tensión incorrecta	Reducción de la banda, grietas, perforaciones, derrames de material.	Inspección visual (adelgazamiento, grietas, cortes, rasgaduras, derrames)	8	8	6	384	NO DESEABLE	Inspecciones periódicas (cortes, desgaste), limpieza regular
			Fallo por desalineación	Desgaste de poleas o rodillos, tensión incorrecta, impacto lateral, estructura de soporte deformado	Desgaste prematuro de bordes, derrames de material, posible paro de banda.	Inspección visual (banda no centrada, roce, desgaste, derrames, rodillos)	6	8	6	288	NO DESEABLE	Inspección visual (alineación, poleas, rodillos), limpieza regular
EQ-004-PO	Poleas	Componentes circulares que transmiten fuerza a la banda mediante fricción, permitiendo su desplazamiento continuo.	Fallo por desgaste superficial	Impacto mecánico (contacto con materia, deslizamiento), falta de limpieza	Pérdida de fricción de la banda, desgaste de banda, ruido, daño a la banda, posible parada de equipo.	Inspección visual (superficie lisa), deslizamiento de la banda, monitoreo de tensión	8	4	7	224	NO DESEABLE	Inspección periódica (tensión, superficie, deslizamiento)
			Fallo por desalineación	Impacto mecánico (desgaste)	Desgaste irregular de la banda.	Inspección visual (desgaste)	6	4	7	168	NO DESEABLE	Inspección periódica (desgaste)
EQ-004-ES	Estructura de soporte	Conjunto de elementos estructurales diseñados para soportar el peso total del equipo y resistir las cargas dinámicas generadas durante el funcionamiento.	Corrosión superficial	Exposición prolongada a salinidad (salmuera)	Debilitamiento estructural, fallo estructural.	Inspección visual (manchas de óxido, picaduras)	8	8	4	256	NO DESEABLE	Inspección periódica (niveles de corrosión), limpieza regular
			Deformación y aflojamiento de estructura	Impacto mecánico (Vibraciones o fatiga del material)	Desalineación equipo, fallos de componentes, fisuras, parada de equipo.	Inspección visual (grietas, abolladuras, desalineación)	4	4	5	80	NO DESEABLE	Inspección periódica (soldadura y reemplazo de componentes dañados)
EQ-004-TE	Templador	Elementos tensión utilizados para asegurar el ajuste correcto de elementos.	Fallo por aflojamiento o pérdida de tensión	Impacto mecánico (Vibraciones o fatiga del material)	Pérdida de tensión, daño a la estructura o rodamientos.	Inspección visual (templadores flojos)	4	3	4	48	NO DESEABLE	Inspección periódica (tensión)
			Fallo de desajuste o rotura	Impacto mecánico (fatiga del material), corrosión	Pérdida completa de tensión o estabilización, riesgo de seguridad.	Inspección visual (templador roto o agrietado)	8	4	7	224	NO DESEABLE	Inspección periódica (estado actual), reemplazo preventivo
			Fallo de rodamientos del motor	Impacto mecánico (fatiga del material), falta o inadecuada lubricación	Vibraciones severas, ruido excesivo, aumento de consumo de corriente, paro de motor.	Inspección visual (vibración)	7	4	3	84	NO DESEABLE	Inspección periódica (vibraciones), programa de lubricación
EQ-004-MO	Motor	Motor trifásico, que convierte la energía eléctrica mecánica de rotación para accionar el sistema transportador.	Fallo eléctrico (bobinado/cortocircuito)	Impacto mecánico (Humedad, sobrecarga eléctrica, envejecimiento de aislamiento (cables))	Paro de motor, sobrecalentamiento.	Inspección visual (conexiones, ventilación)	8	8	6	384	NO DESEABLE	Inspección periódica (fusibles, relés, sistema de control), limpieza regular
			Fallo por corrosión superficial	Exposición prolongada a salinidad y humedad	Deterioro de la carcasa, fallo de conexiones eléctricas.	Inspección visual (óxido, descaramiento de pintura)	6	6	2	72	NO DESEABLE	Inspección periódica (carcasa, conexiones), limpieza regular
			Fallo por atascamiento del rodamiento	Falta de lubricación o inadecuada	Ruido excesivo, aumento de fricción, desgaste o corte de banda.	Inspección visual (rodillos), ruidos anómalos	8	3	2	48	NO DESEABLE	Inspección periódica (rodillos), programa de lubricación
EQ-004-RO	Rodillos	Rodillos cilíndricos que soportan la banda a lo largo de su recorrido, permitiendo suabe y reduciendo la fricción.	Fallo por desgaste por abrasión de la superficie	Abrasión por sal, contacto constante con sal	Reducción del diámetro del rodillo, pérdida de uniformidad de banda, desalineación bandas, daño a la banda.	Inspección visual (superficie irregular, adelgazamiento, desalineación)	5	6	3	90	NO DESEABLE	Inspección periódica (rodillos), limpieza regular

Nota: Elaborado por autor

En la Tabla 35 se evidencia que los modos de fallas más críticos de la cinta transportadora TC 650x14 las cuales son: La banda presenta dos modos de fallas: fallo por desgaste por abrasión o corte quien posee un NPR alto de 384, y fallo por desalineación con 288; también se presenta en la estructura de soporte un modo de falla de corrosión superficial que presenta un NPR alto de 256, y finalmente en el motor, que presenta fallo eléctrico con un NPR alto de 384.

Una vez identificados los modos de fallas con mayor Número de Prioridad de Riesgo (NPR), clasificados y destacados mediante codificación cromática en color rojo para su rápida visualización, es fundamental trasladarlos a una tabla secundaria específica. Esta clasificación adicional facilita el análisis focalizado y priorizado de los modos de fallas más críticos, permitiendo una gestión más eficiente de los recursos y la definición precisa de acciones correctivas y preventivas orientadas a mitigar los riesgos más significativos dentro del sistema de mantenimiento. Adicionalmente, se proyecta la mejora potencial del NPR tras la implementación de las acciones propuestas, lo cual permite cuantificar la reducción del riesgo asociado a cada modo de falla y evaluar la efectividad de las medidas aplicadas dentro del marco del mantenimiento centrado en la confiabilidad. Estos resultados se detallan en la Tabla 36.

Tabla 36.

NPR más altos y mejora en situación esperada

Equipo	Componente	Modo de falla	Situación actual				Situación esperada			
			S	O	D	NPR	S	O	D	NPR
Lavadero Tornillo Sin fin L56 pulg	Estructura de soporte	Corrosión superficial	7	9	4	252	5	4	3	60
	Acoplamientos	Aflojamiento de elementos	7	8	7	392	5	3	4	60
	Tornillo sin fin	Deformación o agrietamiento del eje de transmisión	6	8	6	288	4	3	4	48
	Motor	Fallo de rodamientos del motor	8	8	6	384	6	3	3	54
Escurreidor vibrante ESS180/330	Motor vibrador	Fallo de rodamientos del motor	8	8	7	448	5	3	4	60
	Templadores	Fallo de desajuste o rotura	9	8	5	360	6	3	3	54
	Estructura de soporte	Fallo por corrosión superficial	9	8	4	288	5	4	3	60
Cinta transportadora TCLG 650x30	Banda	Fallo por desgaste, por abrasión o corte	8	9	6	432	5	3	4	60
	Poleas	Fallo por desgaste superficial	8	8	7	448	5	3	4	60
	Estructura de soporte	Corrosión superficial	8	9	4	288	6	3	3	54
	Templadores	Fallo de desajuste o rotura	8	8	7	448	5	3	4	60

Alimentador vibrador	Bandeja	Grietas por fatiga	8	8	4	256	6	3	3	54
	Estructura de soporte	Deformación y aflojamiento de estructura	8	8	4	256	6	3	3	54
	Motor vibrador	Fallo por corrosión superficial	8	8	5	320	5	4	3	60
Tolva de alimentación	Templadores	Fallo de desajuste o rotura	8	8	4	256	6	3	3	54
	Rejilla de tolva	Fallo por deformación o rotura de malla	8	8	6	384	5	3	4	60
	Estructura de soporte	Fractura o rotura de pasamanos o soporte	9	8	4	288	6	3	3	54
Cinta transportadora TCLG 650x14	Banda	Fallo por desgaste, por abrasión o corte	8	8	6	384	5	4	3	60
	Banda	Fallo por desalineación	6	8	6	288	4	3	4	48
	Estructura de soporte	Corrosión superficial	8	8	4	256	5	4	3	60
	Motor	Fallo eléctrico (bobinado/cortocircuito)	8	8	6	384	6	3	3	54

Nota: Elaborado por autor

En la Tabla 36 se evidencia de manera cuantitativa la reducción significativa del número de prioridad de riesgo (NPR) como resultado esperado de la implementación de acciones de mantenimiento bajo el enfoque del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

Esta disminución se consigue optimizando tanto los valores de Severidad (S), Ocurrencia (O) y también de Detección (D), mediante el uso de técnicas como revisiones sistemáticas y la puesta en marcha de seguimiento predictivo. En consecuencia, todos los modos de falla evaluados muestran un NPR previsto inferior a 62, lo que señala un nivel de riesgo bajo desde la perspectiva técnico-operativ y un avance significativo en la confiabilidad y disponibilidad de los equipos esenciales en el sector de lavado de sal.

Análisis RAM

Respecto al análisis RAM, se define como la manera cuantitativa en la que se representa tanto la confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad de los equipos, de forma que en este estudio se examinaron los diferentes indicadores claves de rendimiento respecto al mantenimiento, tomando como referencia el comportamiento operativo de los equipos del año 2024, siendo los indicadores elegidos, ya que facilitan una valoración cuantitativa de la confiabilidad, de la disponibilidad y la mantenibilidad de los diferentes equipos del área de lavado, los cuales son parámetros esenciales para poder evaluar y validar el plan de mantenimiento preventivo.

Tiempo medio de reparación (MTTR): El tiempo medio de reparación (Mean Time To Repair) es un indicador que permite determinar la eficiencia del mantenimiento correctivo, al relacionar el tiempo total de intervención con la cantidad de reparaciones realizadas. Para este caso, se tomaron datos correspondientes del año 2024, donde se registraron las reparaciones detalladas en la Tabla 37, donde de igual manera se detalla el tiempo estimado de reparación y el tiempo total de reparación por equipo establecidos en las fichas técnicas (ver Anexo 15). El cálculo se desarrolló mediante la siguiente fórmula:

$$MTTR: \frac{T_{tr}}{C_r}$$

Tabla 37.

Tiempo medio de reparación por equipos

TIEMPO MEDIO ENTRE REPARACIÓN				
Código	Equipos	Nº. Reparaciones	MTTR (ESTIMADO)	T. Total Rep.
EQ-001	Tolva de alimentación (20 m³)	11	4	44
EQ-003	Alimentador vibrador	11	6	66
EQ-004	Cinta transportadora TC 650x14	8	5	40
EQ-005	Lavadero Tornillo sin fin	16	7,5	120
EQ-006	Escurridor vibrante ESS 180/330	15	7,5	112,5
EQ-007	Cinta transportadora TCP 650x18	5	4	20
EQ-008	Cinta transportadora TCLG 650x30	15	5	75
EQ-009	Bomba ZN 32/160	13	4	52
EQ-010	Bomba ZN 65/160	6	4	24
EQ-011	Bomba ZN 80/160	11	4	44
MTTR			5,1	

Nota: Elaborado por autor en base a datos de fichas técnicas

La tabla anterior muestra los tiempos medios de reparación estimados por equipo, donde se obtuvo un valor promedio del tiempo medio de reparación de toda el área de lavado de 5.1 horas.

Tiempo medio entre fallas (MTBF): El tiempo medio entre fallas (Mean Time Between Failures) es un parámetro que mide la confiabilidad operacional de los activos, al indicar el tiempo promedio de funcionamiento continuo entre dos eventos de falla. En la Tabla 38, se detalla el tiempo medio entre fallos, en el que se consideró un período total de operación de 2080 horas, ya que cada equipo trabaja 8 horas al día por 5 días a la semana, durante el mismo año. Aplicando la fórmula estándar:

$$MTBF = \frac{T_{tr} - T_{ti}}{C_f}$$

Tabla 38.

Tiempo medio entre fallas por equipo

TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS					
Código	Equipos	Nº. Fallas	Tiempo de operación efectiva	MTBF (Estimado)	Cada falla cada día
EQ-001	Tolva de alimentación (20 m³)	11	2080	189,1	24

EQ-003	Alimentador vibrador	11	2080	189,1	24
EQ-004	Cinta transportadora TC 650x14	8	2080	260,0	33
EQ-005	Lavadero Tornillo sin fin	16	2080	130,0	16
EQ-006	Escurreidor vibrante ESS 180/330	15	2080	138,7	17
EQ-007	Cinta transportadora TCP 650x18	5	2080	416,0	52
EQ-008	Cinta transportadora TCLG 650x30	15	2080	138,7	17
EQ-009	Bomba ZN 32/160	13	2080	160,0	20
EQ-010	Bomba ZN 65/160	6	2080	346,7	43
EQ-011	Bomba ZN 80/160	11	2080	189,1	24
				215,7	

Nota: Elaborado por autor en base a datos en fichas técnicas

En la tabla anterior muestra los tiempos medios de entre fallas estimados por equipo donde se obtuvo un valor estimado promedio del tiempo medio de entre fallas de toda el área de lavado de 215.7 horas.

Disponibilidad del Equipo

Se define la disponibilidad de los equipos como la posibilidad de que un equipo se encuentre preparado para desempeñar su función en un momento específico. Se calcula considerando el tiempo disponible frente al tiempo total considerando el tiempo operativo y de inactividad. En la Tabla 39 se muestra la disponibilidad que posee cada equipo en porcentajes. La fórmula utilizada es:

$$D = \frac{TPEF}{TPEF + TPPR} * 100$$

Tabla 39.

Disponibilidad de cada equipo

DISPONIBILIDAD				
Código	Equipos	MTBF	MTTR	Disponibilidad
EQ-001	Tolva de alimentación (20 m ³)	189,1	4	97,93%
EQ-003	Alimentador vibrador	189,1	6	96,92%
EQ-004	Cinta transportadora TC 650x14	260,0	5	98,11%
EQ-005	Lavadero Tornillo sin fin	130,0	7,5	94,55%
EQ-006	Escurreidor vibrante ESS 180/330	138,7	7,5	94,87%
EQ-007	Cinta transportadora TCP 650x18	416,0	4	99,05%
EQ-008	Cinta transportadora TCLG 650x30	138,7	5	96,52%
EQ-009	Bomba ZN 32/160	160,0	4	97,56%
EQ-010	Bomba ZN 65/160	346,7	4	98,86%
EQ-011	Bomba ZN 80/160	189,1	4	97,93%
				97,23%

Nota: Elaborado por autor

En la tabla anterior se muestra la disponibilidad que posee cada equipo donde se demuestra que posee una alta disponibilidad, pero aún existe un margen de mejora ya que al nivel general la disponibilidad de los equipos es de 97.29%

Esta disponibilidad del % indica que, durante el periodo analizado, los equipos estuvieron funcionales un %, cual evidencia oportunidades de mejoras significativas en la confiabilidad y mantenibilidad.

Confiabilidad del equipo

La confiabilidad del equipo se refiere a la capacidad del equipo de operar sin fallas dentro de un periodo determinado. En la Tabla 40 se detalla la confiabilidad de los equipos, donde en muchas aplicaciones se representa mediante el MTBF, también puede calcularse como la proporción de tiempo útil frente al tiempo total:

$$\text{Confiabilidad} = e^{-\lambda \cdot t} \quad \text{siendo: } e: 2.71 \quad \lambda: \text{tasa de fallo}$$

Tabla 40.

Confiabilidad de cada equipo al mes operativo (160 horas)

CONFIABILIDAD				
Código	Equipos	MTBF	Tasa de conf.	Confiabilidad al mes operativo
EQ-001	Tolva de alimentación (20 m³)	189,1	0,0053	43,02%
EQ-003	Alimentador vibrador	189,1	0,0053	43,02%
EQ-004	Cinta transportadora TC 650x14	260,0	0,0038	54,14%
EQ-005	Lavadero Tornillo sin fin	130,0	0,0077	29,32%
EQ-006	Escurreidor vibrante ESS 180/330	138,7	0,0072	31,65%
EQ-007	Cinta transportadora TCP 650x18	416,0	0,0024	68,15%
EQ-008	Cinta transportadora TCLG 650x30	138,7	0,0072	31,65%
EQ-009	Bomba ZN 32/160	160,0	0,0063	36,90%
EQ-010	Bomba ZN 65/160	346,7	0,0029	63,12%
EQ-011	Bomba ZN 80/160	189,1	0,0053	43,02%
				44,40%

Nota: Elaborado por autor

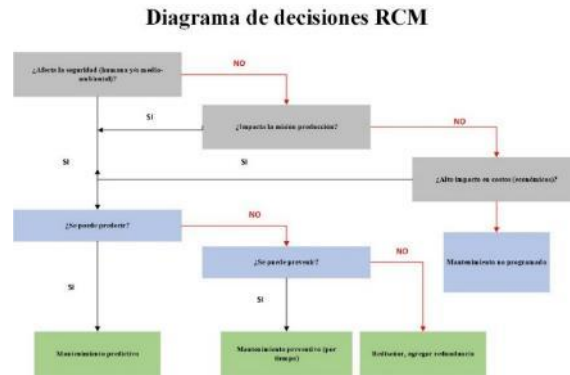
En la tabla anterior se muestra que la confiabilidad de los equipos al nivel general es de 44.40%, lo que indica el porcentaje que posee el sistema para operar sin fallas.

Los resultados obtenidos en el análisis RAM indican que los equipos del área analizada poseen una mantenibilidad media de 5.1 horas, lo que impacta de una manera directa en la disponibilidad operativa general, a su vez que estos indicadores permiten justificar la necesidad de aplicar un plan estructurado de mantenimiento preventivo como predictivo con el fin de reducir los tiempos de inactividad, como la mejora de los tiempos de repuestas y la optimización de los recursos de mantenimiento, de forma que la implementación de tareas específicas bajo la metodología aplicada permitirá tanto aumentar el MRBF y reducir el MTTR, de tal manera que mejora la disponibilidad operacional de nuestra área.

Es importante mencionar que las acciones recomendadas se tomaron en base al árbol de decisiones estructurado en la norma **SAE JA1012**, donde, simplificando, obtenemos la siguiente Figura 20, que tipo de mantenimiento ocupar para cada una de las fallas.

Figura 20.

Diagrama de decisiones del RCM



Nota: Elaborado por autor basado en la Norma SAE JA1012

Las acciones que se asignaron para cada una de las fallas se mencionarán, y se determinará un cronograma en base a cada máquina para determinar los tiempos para desarrollar los diferentes tipos de mantenimiento para cada modo de falla de cada equipo crítico.

Cronograma del plan de mantenimiento preventivo

Para diseñar el cronograma de mantenimiento RCM para cada uno de los modos de fallas identificados en los diferentes equipos críticos, es necesario considerar criterios, tales como los que se detallan en la Tabla 41, que se estructura en base al tipo de acción tomada, la frecuencia sugerida, y en base a qué se encuentra basado.

Tabla 41.

Criterios para cronograma basado en RCM

Tipo de acción	Frecuencia sugerida	En base
Mantenimiento predictivo	Bimestral/Trimestral/Semestral/Anual	Indicadores físicos (vibraciones, temperatura, etc.)
Mantenimiento preventivo	Bimestral/Trimestral/Semestral/Anual	Vida útil estimada de componentes, datos históricos de fallas
Mantenimiento correctivo	Puntual	Modos de fallas no prevenibles ni predecibles

Nota: Elaborado por autor

En la tabla anterior se detallan los tipos de acción que son mantenimiento predictivo, mantenimiento preventivo y correctivo, siendo la frecuencia sugerida entre diario/semanal/mensual, bimestral/trimestral/semestral/anual y puntual respectivamente y basados en lo ya indicado anteriormente.

PLAN DE MANTENIMIENTO - RCM - ÁREA DE LAVADO ECUASAL S, A.

ELABORADO POR:

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA "UPSE"
Mario David Tumbaco España

FECHA DE ELABORACIÓN:
FECHA DE REVISIÓN:

4/6/2025

MÁQUINAS QUE POSEEN RIESGO ALTO

CÓDIGO	CODIFICACIÓN	PIEZA O COMPONENTE	ESPECIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	DURACIÓN	REVISADOR POR: RESPONSABLE	N° PERSONAS	FRECUENCIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Lavader o Tornillo Sin fin L56 pulg	EQ-005	Estructura de soporte	Inspección visual/Mantenimiento preventivo/predictivo	Es necesario llevar a cabo una inspección visual para detectar grados de corrosión, desprendimiento de pintura, abolladuras o deformaciones. Es necesario limpiar la superficie con cepillo de metal y realizar tratamiento anticorrosivo, posteriormente aplicar pintura epóxica de alta resistencia con brocha, garantizando un espesor mínimo seco de 200 micras. Verificar apriete de pernos de anclaje y registrar hallazgos.	4 horas	Jefe de área	1	Semestral	X						X					
Lavader o Tornillo Sin fin L56 pulg	EQ-005	Acoplamiento	Inspección visual y auditiva/Mantenimiento preventivo/predictivo	Se debe inspeccionar acoplamientos mecánicos para verificar la desalineación, grietas, holguras o desgastes anormales. También verificar estado de bujes, chavetas y tornillería de fijación. Se debe reapretar a torque especificado según el acoplamiento (flexible, rígido o de engrane). Lubricar si corresponde y dejar constancia en hoja de ruta de mantenimiento	3 horas	Jefe de área	1	Trimestral		X			X			X			X	
Lavader o Tornillo Sin fin L56 pulg	EQ-005	Tornillo sin fin	Inspección visual y auditiva/Mantenimiento preventivo/predictivo	Se debe realizar la inspección visual del tornillo sin fin completa para detectar el desgaste en el paso de las fisuras, corrosión localizada o acumulación de sal cristalizada. También se tiene que evaluar el estado de rodamientos extremos y alineación longitudinal del tornillo. Realizar limpieza con chorro de agua a presión. Aplicar lubricación programada en puntos de engrase.	3 horas	Jefe de área	1	Trimestral			X			X			X			X
Lavader o Tornillo Sin fin L56 pulg	EQ-005	Motor	Inspección auditiva, temperatura/Mantenimiento preventivo/predictivo	Inspección auditiva para identificar ruidos anómalos en rodamientos ventilador o rotor. Medición de temperatura con termómetro infrarrojo en carcasa, rodamientos y terminales. Verificar estado de aislamiento si aplica, revisar programa de lubricación (según horas de operación).	3 horas	Jefe de área	1	Trimestral	X			X			X			X		
Lavader or vibrante ESS180/30	EQ-006	Motor vibrador	Inspección auditiva temperatura/Mantenimiento preventivo/predictivo	Verificar el estado de vibración y ruidos anómalos en funcionamiento, medir temperatura del motor (uso de termómetro infrarrojo), verificar nivel de grasa, ejecutar engrase con grasa tipo EP2 (Grasa lubricante con aditivos de extrema presión) o Bisulfuro de Molibdeno	3 hora	Jefe de área	1	Mensual	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Lavader or vibrante ESS180/30	EQ-006	Templador	Inspección visual/Mantenimiento preventivo/predictivo	Verificar visualmente el estado de los templadores (presencia de fisuras, grietas, desgaste de caucho o elemento elástico), revisar alineación y tensión de sujeción, reemplazar en caso de ser necesario	3 hora	Jefe de área	1	Trimestral		X			X			X			X	
Lavader or vibrante ESS180/30	EQ-006	Estructura de soporte	Inspección visual/Mantenimiento preventivo/predictivo	Realizar inspección visual sistemática para identificar niveles de corrosión, desprendimiento de pintura, abolladuras o deformaciones. Limpiar la superficie con cepillo metálico y aplicar tratamiento anticorrosivo, posteriormente aplicar pintura epóxica de alta resistencia con brocha o pistola, garantizando un espesor mínimo seco de 200 micras. Verificar apriete de pernos de anclaje y registrar hallazgos en formato técnico	4 horas	Jefe de área	1	Semestral	X						X					
Cinta transportadora TCLG 650x30	EQ-008	Banda	Inspección visual/mantenimiento preventivo/predictivo	Realizar inspección visual en toda la longitud de la banda para detectar signos de adelgazamiento por abrasión, grietas longitudinales o transversales, cortes irregulares y desprendimiento de capas. Verificar presencia de incrustaciones de sal o materiales que puedan generar desgaste prematuro. Aplicar limpieza manual o con cepillos rotativos para evitar acumulación de salitre o humedad que acelere el deterioro. Registrar cualquier hallazgo planificar cambio de banda si el daño supera el 20% del espesor original.	2 horas	Jefe de área	1	Trimestral			X			X			X			X
Cinta transportadora TCLG 650x30	EQ-008	Poleas	Inspección visual/mantenimiento preventivo/predictivo	Ejecutar inspección visual de la superficie de las poleas verificando que no presenten desgaste irregular, corrosión, abolladuras o acumulación de sedimentos. Comprobar el alineamiento de la polea y el estado del recubrimiento (en caso de poleas revestidas). Evaluar el centrado de la banda sobre poleas y corregir desviaciones. Medir tensión mediante la verificación manual, y ajustarla si es necesario para evitar deslizamiento.	3 horas	Jefe de área	1	Trimestral		X			X			X			X	
Cinta transportadora TCLG 650x30	EQ-008	Estructura de soporte	Inspección visual/Mantenimiento preventivo/predictivo	Realizar inspección visual sistemática para identificar niveles de corrosión, desprendimiento de pintura, abolladuras o deformaciones. Limpiar la superficie con cepillo metálico y aplicar tratamiento anticorrosivo, posteriormente aplicar pintura epóxica de alta resistencia con brocha o pistola, garantizando un espesor mínimo seco de 200 micras. Verificar apriete de pernos de anclaje y registrar hallazgos en formato técnico	4 horas	Jefe de área	1	Semestral	X			X			X			X		
Cinta transportadora TCLG 650x30	EQ-008	Templador	Inspección visual/mantenimiento preventivo/predictivo	Inspeccionar el sistema de tensión para verificar funcionamiento adecuado. Detectar signos de fatiga, agrietamiento, desalineación del mecanismo y pérdida de tensión. Lubricar partes móviles si aplica. Medir elongación de la banda y ajustar la tensión para mantenerla dentro del rango operativo definido por el fabricante. Susituir piezas si hay deformación permanente o si la recuperación no es efectiva	3 horas	Jefe de área	1	Bimestral	X		X		X		X		X		X	
Alimentador vibrador	EQ-003 BA	Bandeja	Inspección visual/Mantenimiento preventivo	Realizar una inspección visual minuciosa de la bandeja vibratoria para identificar grietas estructurales, desprendimientos de soldadura, deformaciones, abolladuras o cambios de color de material que puedan indicar sobrecalentamiento o fatiga por vibración. Evaluar el todo de las uniones mecánicas, pernos, y puntos de fijación, asegurando su correcto ajuste. Si se identifican fisuras o componentes dañados	2 horas	Jefe de área	1	Cuatrimstral		X				X				X		

Alimentador vibrador	EQ-003-ES	Estructura de soporte	Inspección visual/Mantenimiento preventivo	ejecutar la reparación mediante soldadura especializada o el reemplazo completo del segmento comprometido siguiendo especificaciones del fabricante. Verificar el estado físico de la estructura que sostiene el alimentador vibrante mediante inspección visual, revisando presencia de grietas en las soldaduras, abolladuras por impacto desalineación en los ejes de carga o asentamiento irregular en las bases de anclaje. Confirmar que las conexiones estructurales estén firmes y libres de óxido. Si se detecta debilitamiento o inestabilidad estructural, proceder al ajuste, refuerzo o reemplazo preventivo parámetros. Ejecutar una inspección visual del motor observando si existe óxido en carcasa, zonas descascaradas de pintura o signos de fuga de grasa. Verificar estado y firmeza de conexiones eléctricas y terminales. Realizar limpieza superficial para evitar acumulación de polvo o partículas salinas que afecten la disipación de calor. Registrar condición general y programar mantenimiento correctivo si se evidencian anomalías.	2 horas	Jefe de área	1	Trimestral	X	X	X	X
Alimentador vibrador	EQ-003-MV	Motor vibrador	Inspección visual/Mantenimiento preventivo/predictivo	Inspeccionar el estado físico de los templadores verificando integridad estructural, ausencia de fisuras, deformaciones o puntos de corrosión avanzada. Evaluar que las piezas móviles o componentes tensores no presenten agrietamiento o pérdida de fuerza de sujeción. Reemplazar aquellos templadores que evidencien desgastes excesivos, fractura o que comprometan la estabilidad del conjunto vibrador. Documentar el estado general y asegurar trazabilidad en el historial de mantenimiento.	3 horas	Jefe de área	1	Trimestral	X	X	X	X
Alimentador vibrador	EQ-003-TE	Templador	Inspección visual/Mantenimiento preventivo/predictivo	Realizar una inspección visual de la rejilla de la tolva para identificar signos de oxidación superficial, picadura, pérdida de material. Verificar el estado de las uniones soldadas, asegurando así mismo la integridad estructural. Si se detectan daños, se procede con el desbaste y limpieza con cepillo de alambre. Registrar cada hallazgo en el historial técnico del equipo.	3 horas	Jefe de área	1	Trimestral	X	X	X	X
Tolva de alimentación	EQ-001-RT	Rejilla de tolva	Inspección visual/Mantenimiento preventivo/predictivo	Se debe realizar una inspección visual de la estructura de la tolva, incluyendo pasamanos, plataformas, vigas y puntos de anclaje. Buscar evidencia de fisuras, roturas, corrosión en superficies expuestas, deformaciones estructurales. Es necesario limpiar la superficie con cepillo de metal y realizar tratamiento anticorrosivo, posteriormente aplicar pintura epóxica de alta resistencia con brocha, garantizando un espesor mínimo seco de 200 micras. Reemplazar componentes severamente deteriorados y documentar intervenciones realizadas	3 horas	Jefe de área	1	Trimestral	X	X	X	X
Tolva de alimentación	EQ-001-ES	Estructura de soporte	Inspección visual/Mantenimiento preventivo/predictivo	Realizar inspección visual en toda la longitud de la banda para detectar signos de adelgazamiento por abrasión, grietas longitudinales o transversales, cortes irregulares y desprendimiento de capas. Verificar presencia de incrustaciones de sal o materiales que puedan generar desgaste prematuro. Aplicar limpieza manual o con cepillos rotativos para evitar acumulación de salitre o humedad que acelere el deterioro. Registrar cualquier hallazgo planificar cambio de banda si el daño supera el 20% del espesor original.	4 horas	Jefe de área	1	Semestral	X	X	X	X
Cinta transportadora TCLG 650x14	EQ-004-BA	Banda	Inspección visual/Mantenimiento preventivo/predictivo	Se debe ejecutar revisión visual de la trayectoria de la banda para comprobar que esté centrada y sin desviaciones hacia los bordes, de igual manera inspeccionar el estado y alineación de la polea motriz y de cola, así como de los rodillos de carga y retorno. Ajustar tensores y alineadores en caso de desvíos. Limpiar rodillo contaminados y verificar su libre rotación. Si se detectan fallos o componentes bloqueados, proceder a su lubricación o reemplazo registrar todo en el informe de mantenimiento.	3 horas	Jefe de área	1	Trimestral	X	X	X	X
Cinta transportadora TCLG 650x14	EQ-004-BA	Banda	Inspección visual/Mantenimiento preventivo/predictivo	Realizar inspección visual sistemática para identificar niveles de corrosión, desprendimiento de pintura, abolladuras o deformaciones. Limpiar la superficie con cepillo metálico y aplicar tratamiento anticorrosivo, posteriormente aplicar pintura epóxica de alta resistencia con brocha o pistola, garantizando un espesor mínimo seco de 200 micras. Verificar apriete de pernos de anclaje y registrar hallazgos en formato técnico	3 horas	Jefe de área		Bimestral	X	X	X	X
Cinta transportadora TCLG 650x14	EQ-004-ES	Estructura de soporte	Inspección visual/Mantenimiento preventivo/predictivo	Se debe realizar una inspección visual del motor verificando presencia de óxido, humedad, daños en carcasa, ventilación obstruida, conexiones sueltas, deterioro de aislamiento o puntos caliente. Se debe desenergizar el sistema, limpiar el polvo y residuos de sal con aire comprimido seco y paños no abrasivos. Verificar estado de relés, fusibles y borneras del tablero de control. Asegurar que las conexiones eléctricas están firmes y sin corrosión. Se tienen que registrar actividad y valores medidos si se aplicó.	4 horas	Jefe de área	1	Semestral	X	X	X	X
Cinta transportadora TCLG 650x14	EQ-004-MO	Motor	Inspección visual/Mantenimiento preventivo/predictivo		4 horas	Jefe de área	1	Cuatrimestral	X	X	X	X

Convenciones de Cronograma:

	Mantenimiento Predictivo
	Mantenimiento Correctivo
	Mantenimiento Preventivo

Análisis comparativo

Los indicadores esperados una vez aplicado el plan de mantenimiento preventivo son reducir tanto el tiempo medio de reparación, el tiempo medio entre fallas, aumentar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

Tiempo medio de reparación (MTTR)

Tabla 42.

Tiempo medio de reparación por equipos *Proyectado*

Código	Equipos	MTTR (ESTIMADO ANTES)	MTTR (ESPERADO DESPÚES)	% DE MEJORA
EQ-001	Tolva de alimentación (20 m ³)	4	2	50%
EQ-003	Alimentador vibrador	6	3	50%
EQ-004	Cinta transportadora TC 650x14	5	2	40%
EQ-005	Lavadero Tornillo sin fin	7,5	4	47%
EQ-006	Escurreidor vibrante ESS 180/330	7,5	4	47%
EQ-007	Cinta transportadora TCP 650x18	4	4	0%
EQ-008	Cinta transportadora TCLG 650x30	5	2	40%
EQ-009	Bomba ZN 32/160	4	4	0%
EQ-010	Bomba ZN 65/160	4	4	0%
EQ-011	Bomba ZN 80/160	4	4	0%
	Promedio	5,1	3.5	31%

Nota: Elaborado por autor

En la tabla anterior muestra los tiempos medios de reparación estimados y los esperados una vez aplicado la metodología, por lo tanto, se espera una mejora del tiempo medio de reparación de un 31%.

Tiempo medio entre fallas (MTBF)

Tabla 43.

Tiempo medio entre fallas por equipo

Código	Equipos	MTBF (ESTIMADO ANTES)	% MEJORA	MTBF (ESPERADO DESPÚES)
EQ-001	Tolva de alimentación (20 m ³)	189,1	40%	264,7
EQ-003	Alimentador vibrador	189,1	40%	264,7
EQ-004	Cinta transportadora TC 650x14	260,0	40%	364,0
EQ-005	Lavadero Tornillo sin fin	130,0	40%	182,0
EQ-006	Escurreidor vibrante ESS 180/330	138,7	40%	194,1
EQ-007	Cinta transportadora TCP 650x18	416,0	0%	416,0
EQ-008	Cinta transportadora TCLG 650x30	138,7	40%	194,1
EQ-009	Bomba ZN 32/160	160,0	0%	160,0
EQ-010	Bomba ZN 65/160	346,7	0%	346,7
EQ-011	Bomba ZN 80/160	189,1	0%	189,1
	Promedio	215,7	24%	257,5

Nota: Elaborado por autor en base a datos en fichas técnicas

En la tabla anterior muestra los tiempos medios de entre fallas estimados y esperados, se espera una mejora del 24% a nivel del área de lavado, pasando de 215.74 horas a 257.5 horas.

Disponibilidad del Equipo

Tabla 44.

Disponibilidad de cada equipo

DISPONIBILIDAD ACTUAL VS ESPERADA							
Código	Equipos	MTBF ANTES	MTTR ANTES	Disponibilidad	MTBF ESPERADO DESPUÉS	MTTR ESPERADO DESPUÉS	Disponibilidad ESPERADO
EQ-001	Tolva de alimentación (20 m ³)	189,1	4	97,93%	264,7	2	99,25%
EQ-003	Alimentador vibrador	189,1	6	96,92%	264,7	3	98,88%
EQ-004	Cinta transportadora TC 650x14	260,0	5	98,11%	364,0	3	99,18%
EQ-005	Lavadero Tornillo sin fin	130,0	7,5	94,55%	182,0	4	97,85%
EQ-006	Escurreidor vibrante ESS 180/330	138,7	7,5	94,87%	194,1	4	97,98%
EQ-007	Cinta transportadora TCP 650x18	416,0	4	99,05%	416,0	4	99,05%
EQ-008	Cinta transportadora TCLG 650x30	138,7	5	96,52%	194,1	3	98,48%
EQ-009	Bomba ZN 32/160	160,0	4	97,56%	160,0	4	97,56%
EQ-010	Bomba ZN 65/160	346,7	4	98,86%	346,7	4	98,86%
EQ-011	Bomba ZN 80/160	189,1	4	97,93%	189,1	4	97,93%
				97,23%		3,5	98,50%

Nota: Elaborado por autor

En la tabla anterior se muestra la disponibilidad que posee cada equipo actual y la que se espera, donde anteriormente se tenía una disponibilidad de 97.23% y una vez aplicada la metodología y el plan, se tiene una mejora de 1.27%, siendo un margen significativo de mejora respecto al área de lavado, llegando a obtener una disponibilidad de 98.50%.

Confiabilidad del equipo

Tabla 45.

Confiabilidad de cada equipo al mes operativo (160 horas)

CONFIABILIDAD							
Código	Equipos	MTBF ANTES	Tasa de Confiabilidad	Confiabilidad al mes operativo ANTES	MTBF ESPERADA DESPUÉS	Tasa de Confiabilidad	Confiabilidad al mes operativo DESPUÉS
EQ-001	Tolva de alimentación (20 m ³)	189,1	0,0053	43,02%	264,7	0,0038	54,74%
EQ-003	Alimentador vibrador	189,1	0,0053	43,02%	264,7	0,0038	54,74%
EQ-004	Cinta transportadora TC 650x14	260,0	0,0038	54,14%	364,0	0,0027	64,52%
EQ-005	Lavadero Tornillo sin fin	130,0	0,0077	29,32%	182,0	0,0055	41,63%
EQ-006	Escurreidor vibrante ESS 180/330	138,7	0,0072	31,65%	194,1	0,0052	43,97%
EQ-007	Cinta transportadora TCP 650x18	416,0	0,0024	68,15%	416,0	0,0024	68,15%
EQ-008	Cinta transportadora TCLG 650x30	138,7	0,0072	31,65%	194,1	0,0052	43,97%
EQ-009	Bomba ZN 32/160	160,0	0,0063	36,90%	160,0	0,0063	36,90%
EQ-010	Bomba ZN 65/160	346,7	0,0029	63,12%	346,7	0,0029	63,12%
EQ-011	Bomba ZN 80/160	189,1	0,0053	43,02%	189,1	0,0053	43,02%
				44,40%			51,48%

Nota: Elaborado por autor

En la tabla anterior se muestra que la confiabilidad de los equipos al nivel general es de 44.40% y el esperado con una mejora 7.08%, llegando a 51.48% de confiabilidad a nivel general del área de lavado de los equipos críticos.

Análisis financiero

Para el desarrollo de nuestra propuesta del plan de mantenimiento estructurado sobre el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), se procedió a especificar los costos asociados a la aplicación de las herramientas utilizadas. Así mismo, se describieron los componentes esenciales de cada una de las herramientas y se realizó una evaluación detallada de los recursos humanos y materiales necesarios para su implementación en el área de lavado de sal de la empresa Ecuasal S. A., detallados en la Tabla 46 y Tabla 47.

Tabla 46.

Valor de contratación Mano de Obra

Valor de contratación mano de obra			
Personal	Salario básico	Valor día	Horas/día
Técnico de mantenimiento	470	15,67	1,958333333
Ingeniero de mantenimiento	1200	40,00	5
Ingeniero de seguridad industrial	1200	40,00	5

Nota: Elaborado por autor basado en (Álvarez & Hurtado, 2021)

Tabla 47.

Costos para levantamiento de información e implementación

Análisis financiero de levantamiento e implementación sobre la propuesta de mantenimiento						
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor Total	
1	Mano de Obra					
1.1	Levantamiento del estado actual de maquinarias (1 ingeniero y 1 técnico) durante 1 semana (56 horas de trabajo diurno) (costo día 40 ingeniero, 15 técnico)	Horas	56	\$ 6,96	\$ 389,67	
1.2	Recolección de información del tiempo medio entre fallas, cantidad de fallas y tiempo medio de reparación, 1 ingeniero durante 8 horas por 2 semanas	Horas	112	\$ 5,00	\$ 560,00	
1.3	Realizar análisis de criticidad del sistema de lavado, 1 ingeniero, 1 técnico durante una semana (8 horas diurnas)	Horas	56	\$ 6,96	\$ 389,67	
1.4	Realizar análisis de matriz de criticidad y matriz de fallas del sistema de soporte eléctrico, 2 ingeniero (2 semanas, 8 horas)	Horas	112	\$ 10,00	\$ 1.120,00	
1.5	Evaluación de las consecuencias de fallas, (1 ingeniero y técnico), (1 semana, 8 horas)	Horas	56	\$ 6,96	\$ 389,67	
1.6	Elaboración de tareas de mantenimiento, frecuencias de mantenimiento y responsables (1 ingeniero, 2 semanas, 8 horas)	Horas	112	\$ 5,00	\$ 560,00	
2	Bienes y servicios					
2.1	Computadora portátil	Unidad	1	\$ 800,00	\$ 800,00	
2.2	Impresora	Unidad	1	\$ 200,00	\$ 200,00	
2.3	Papelería	Global	1	\$ 40,00	\$ 40,00	
2.4	Plan móvil	Global	1	\$ 30,00	\$ 30,00	
2.5	Transporte	Global	1	\$ 50,00	\$ 50,00	
2.6	Imprevisto	Global	1	\$ 120,00	\$ 120,00	
3	Capacitación y documentación					
	Capacitación técnica en mantenimiento preventivo, y RCM	Horas	20	\$ 5,00	\$ 100,00	
4	Repuestos y materiales para mantenimiento preventivo, correctivo o programado					
4.1	Lubricantes industriales (grasas, aceites)	Unidades	25	\$ 25,00	\$ 625,00	
4.2	Kit de limpieza (escobas, trapos, disolventes)	Kits	10	\$ 15,00	\$ 150,00	
4.3	Pintura epóxica anticorrosiva	Galones	15	\$ 22,00	\$ 330,00	
4.4	Herramientas básicas	Juegos	3	\$ 40,00	\$ 120,00	

4.5	Cintas transportadoras	Unidades	2	\$ 380,00	\$ 760,00
4.6	Rodamientos para equipos rotativos	Unidades	4	\$ 15,00	\$ 60,00
4.7	Kit de empaques para válvulas y conexiones	Kits	4	\$ 10,00	\$ 40,00
4.8	Mangueras y acoples industriales	Unidades	5	\$ 15,00	\$ 75,00
4.9	Servicios externos (soldadura, alineación, balanceo)	Servicios	3	\$ 100,00	\$ 300,00
4.10	Auditorías internas técnicas semestrales	Auditorías	2	\$ 15,67	\$ 31,34
4.11	Equipos de protección personal (EPP)	Kits	4	\$ 25,00	\$ 100,00
Subtotal					\$ 7.340,34
10 % de imprevisto					\$ 734,03
15 % de reajuste					\$ 1.101,05
TOTAL					\$ 9.175,43

Nota: Elaborado por autor basado en (Álvarez & Hurtado, 2021)

En la tabla anterior se detallan los costos para el levantamiento de información, como de implementación para la propuesta del plan de mantenimiento, obteniendo un subtotal de \$7.340,34, el cual a ese valor se le aumentará el 10 % de imprevisto y el 15 % de reajuste para obtener un total de implementación de \$9.175,43.

De igual manera es importante conocer cuáles son los beneficios netos que traería implementar aquella propuesta, de tal manera que se toma un aproximado en un escenario propuesto donde, en el área de análisis se presentan un total de las fallas presentadas en fichas y registros lo que genera un costo estimado \$14.900,00 (Se usarán datos estimados por sigilo de la información) en mantenimientos, y anualmente los equipos permanecen inactivos por 51 horas, lo cual representa una pérdida significativa considerando que el costo estimado por hora de parada en esta área es de aproximadamente de \$1.500 , dependiendo de la afectación directa al proceso productivo y a la disponibilidad de materia prima procesada. Esto implica que el costo por pérdidas operativas por inactividad es de \$76.500 anuales, solo por concepto de detención no planificada. De esta manera, el costo total actual del sistema de mantenimiento es de \$91.400,00 basado en el estudio de (Álvarez Romero & Hurtado Avella, 2021).

Con la implementación del plan de mantenimiento estructurado bajo la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad, se proyecta una mejora significativa basada en estudios realizados anteriormente donde se ha mejorado la disponibilidad y la confiabilidad de los equipos, lo que permitirá reducir las fallas un 46% a un estimado de 60 por año. Esta reducción impactaría directamente en los costos de mantenimiento, que reducirían un 26 %, disminuyendo a aproximadamente a \$11.126 anuales, así como en las horas de inactividad, que estarían vinculado a la reducción de fallas, siendo alrededor de 27 horas por año. En consecuencia, las pérdidas por paradas no planificadas se reducirían proporcionalmente, generando una pérdida proyectada de \$40.500 anuales. De esta manera, el costo total proyectado del sistema de mantenimiento es de

\$51.626. Por tanto, con el plan, el costo total proyectado con RCM se estima en \$ 51.626 anuales, reflejando un ahorro anual estimado de \$39.774. Esta diferencia representa no solo una mejora en la disponibilidad operativa, sino una optimización del presupuesto de mantenimiento, y de la continuidad productiva del área de lavado, justificando técnicamente la inversión en el desarrollo y ejecución del plan RCM basado en el estudio de Álvarez & Hurtado, (2021).

$$ROI = \frac{\text{Ahorro anual} - \text{Costo de la inversión}}{\text{Costo de la inversión}} * 100$$

$$ROI = \frac{\$39.774 - \$9.175,43}{\$9.175} * 100$$

$$ROI = \frac{\$30.598,57}{\$9.175,43} * 100$$

$$ROI = 333,5\%$$

Periodo de recuperación

$$\text{Periodo de recuperación} = \frac{\text{Costo de la inversión}}{\text{Ahorro anual}} = \frac{\$9.175,43}{\$39.774} = 0.23 \text{ años} = 2.8 \text{ meses}$$

Respecto al estudio financiero que se ha realizado se proyecta un ahorro anual de \$39.774, con un costo de inversión de \$9.175, el mismo que se evidencia que la propuesta de la aplicación de esta metodología es sumamente lucrativa, de forma que el retorno de la inversión se encuentra entre un 333.6%, lo cual señala que por cada dólar que se invierta se obtendrán una ganancia neta que será superior a 3 dólares, de igual manera se definió el periodo de recuperación es de 2.8 meses, en otras palabras se indica un rendimiento rápido y eficaz, finalmente se puede concluir que estos indicadores reflejan que la implementación del plan de mantenimiento no solo se considera viables, si no que se puede considerar estratégica para la mejora de la eficiencia operativa, en la reducción de costos a corto plazo de forma que se puede evidencias en los posibles escenarios tanto optimistas, como pesimistas de acuerdo al ROI y al tiempo de recuperación. En la Tabla 48.

Tabla 48.

Escenarios optimistas y pesimistas

Escenario	Ahorro Anual	ROI (%)	Periodo de Recuperación en años	Periodo de Recuperación en meses
-20%	\$ 31.819,20	247%	0,29	3,5
-10%	\$ 35.796,60	290%	0,26	3,1
Base (estimado)	\$ 39.774,00	333,5%	0,23	2,8
10%	\$ 43.751,40	377%	0,21	2,5
20%	\$ 47.728,80	420%	0,19	2,3

Nota: Elaborado por autor

Donde se evidencia que, aun partiendo de estos escenarios, se presenta un retorno rápido y eficiente respecto a la aplicación de la metodología.

Marco de discusión

La discusión respecto a los resultados alcanzados en esta investigación permite una comprensión, integral respecto a la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) y su impacto positivo en el proceso de producción. Se mostraron los hallazgos del cuestionario que estaba conformado por 20 ítems, lo que facilitó la identificación de las áreas que poseen posible mejora, la evaluación de la consistencia interna del cuestionario por medio de los indicadores de fiabilidad, y confirmar la presencia de una correlación estadísticamente relevante entre la variable dependiente e independiente. Mediante la metodología del RCM, como en sus primeros pasos, permitieron diagnosticar la situación actual y el contexto operativo en el que se labora, y con ayuda de herramientas de análisis como de criticidad y AMFE se ha podido clasificarla y establecer acciones en base a los modos de fallas potenciales de cada componente. En la primera etapa se realizó un diagnóstico en el contexto operacional preliminar que se basó en la obtención de datos en el área de lavado, después un diagnóstico inicial dentro del área con ayuda como fichas técnicas y Check List. De igual manera, herramientas de análisis como el diagrama de Pareto y el AMFE se identificaron modos de fallas potenciales.

Se llegó a la conclusión de que las máquinas que poseen mayor criticidad son 6, las cuales son: primero, el lavadero tornillo sin fin L56 pulg; segundo el escurridor vibrante ESS 180/130; tercero la cintra transportadora TCLG 650x30; cuarto el alimentador vibrador; quinto la tolva de alimentación; para finalmente en sexto lugar la cintra transportadora TCLG 650x14. Las mismas que presentan diferentes modos de fallas, las cuales se abarcan dentro de la matriz AMEF, con su respectiva causa, y efectos, en conjunto a sus métodos de detección.

La propuesta del sistema de mantenimiento se basó en los principios de confiabilidad operacional y análisis funcional de los equipos críticos. De tal manera que se espera una potencial mejora significativa en términos de disponibilidad operativa, reducción de fallas inesperadas y disminución de costos indirectos por paradas no planificadas. Donde se espera mejorar un 31% el tiempo medio de reparación, el tiempo medio entre fallas un 24%, afectando directamente la disponibilidad operativa, llegando a un 98.50%, e incrementando la confiabilidad en un 51,48%.

CONCLUSIONES

En el apartado del estado del arte, se empleó una revisión sistemática de la literatura complementada con análisis bibliométrico, para identificar las metodologías aplicadas al diseño de planes de mantenimiento preventivo bajo RCM en entornos industriales. Se priorizaron estudios en condiciones similares al área de lavado de sal, donde la salinidad y abrasión afectan la vida útil de los equipos. Los artículos más citados evidencian que el RCM mejora la disponibilidad operativa y reduce costos de mantenimiento correctivo. Además, la revisión, bajo el protocolo PRISMA, permitió establecer fundamentos teóricos sólidos con base en 50 artículos relevantes.

La investigación adoptó un enfoque mixto con un diseño metodológico transversal, descriptivo y correlacional, documentando el estado actual del sistema de mantenimiento y analizando la relación entre las variables para mejorar la disponibilidad y confiabilidad en el proceso de lavado de sal. Se aplicó un enfoque metodológico que abarca desde la investigación del ambiente corporativo hasta la evaluación financiera (ROI). Esta perspectiva facilitó la creación de un modelo técnico-operativo adaptado a las circunstancias reales de la planta. Para confirmar la validez de los datos recolectados, se llevó a cabo un test de fiabilidad al cuestionario, logrando un alfa de Cronbach de 0.708, lo que señala una consistencia aceptable. Adicionalmente, se confirmó la presencia de una correlación positiva y relevante entre la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) y la disponibilidad, a través del coeficiente de Pearson, que mostró un valor de 0.790.

En conclusión, los hallazgos obtenidos corroboran que la metodología es un recurso eficaz para mejorar respecto al mantenimiento en el área de lavado de sal. Esta facilitó la evaluación del estado presente de los equipos, la identificación de los más críticos y la definición de acciones específicas basándose en el análisis de criticidad y el análisis modal de fallos y efectos (AMEF). La propuesta técnica fundamentada en la confiabilidad operacional muestra avances notables: aumento del 24% en el tiempo medio entre las fallas, disminución del 31% en el tiempo medio de reparación y elevación del 98.50% en la disponibilidad operativa lo que demuestra una mejora respecto al mantenimiento más eficaz y sostenible.

RECOMENDACIONES

Es recomendable utilizar métodos como la revisión sistemática de la literatura, unida al análisis bibliométrico y la investigación de citas mediante diversas plataformas de búsqueda. Debido a que este procedimiento brinda a los investigadores la posibilidad de utilizar amplias y extensas fuentes actualizadas y que son de libre acceso, lo que es fundamental para respaldar de manera técnica la investigación, garantizando de tal manera la validez metodológica, a su vez adoptando los hallazgos al ambiente operativo real.

Es recomendable establecer un marco metodológico de manera estructurada, debido a que, además de que cumple un papel fundamental en el establecimiento de técnicas, herramientas e instrumentos a ocupar, permite establecer la aplicación de métodos eficaces y prácticos para la recolección de datos.

Se recomienda que en futuras investigaciones consideren la aplicación del método de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en otras áreas de la planta, con el fin de evaluar el impacto integral en la disponibilidad operativa global. Esta ampliación permitiría comparar resultados entre áreas, identificar patrones comunes de fallas y establecer lineamientos técnicos para una gestión de mantenimiento más eficiente y sistematizada en toda la cadena de valor de la producción de la sal.

REFERENCIAS

- Akpan, W. A., & Nyaucho, I. I. (2023). Reliability and Availability Improvement Techniques for Nigeria Electric Power Stations. *Engineering And Technology Journal*, 8(12), 3244–3254. <https://doi.org/10.47191/etj/v8i12.18>
- Alatorre, J. (2022). Impactos macroeconómicos del cambio climático en América Latina y el Caribe: revisión de la literatura, 2010-2021. *ideas.repec.org* JE Alatorre, I Fernández Sepúlveda Documentos de Proyectos, 2022•ideas.repec.org. <https://ideas.repec.org/p/ecr/col022/48524.html>
- Alhilman, J., Habibie, M. F., & Tripiawan, W. (2020). Web-Based Application of Reliability Availability Maintainability and Cost of Unreliability Method to Analyze Performance of the Machine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 847(1), 12019. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/847/1/012019>
- Alvarado-Betancourt, E. J., & Sabando-Piguabe, L. F. (2021). Sistema de gestión de mantenimiento basado en confiabilidad. Caso de estudio: Planta de tratamiento de agua empresa DIALILIFE. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*. ISSN: 2737-6249., 4(8), 46–77.
- Álvarez Romero, J., & Hurtado Avella, S. (2021). *Diseño de un plan de mantenimiento basado en RCM para el soporte del sistema eléctrico (Planta Eléctrica) de Falabella sede colina* [Escuela Colombiana de Escuelas Industriales]. <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/866>
- Amaiquema, A. (2020). *Enfoques para la formulación de la hipótesis en la investigación científica*. *Conrado*, 15 (70), 15.
- Andrade-Solórzano, C. L., & Herrera-Suárez, M. (2021). Análisis de la situación actual del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 4(8), 2–18. <https://doi.org/10.46296/ig.v4i8.0021>
- Arias Gonzáles, J. L. (2022). Guía para elaborar la operacionalización de variables. *Revista Espacio I+D Innovación más Desarrollo*, X(28), 42–56. <https://doi.org/10.31644/IMASD.28.2021.a02>
- Batelić, J., Griparić, K., & Matika, D. (2021). Impact of Remediation-Based Maintenance on the Reliability of a Coal-Fired Power Plant Using Generalized Stochastic Petri Nets. *Energies*, 14(18), 5682. <https://doi.org/10.3390/en14185682>
- Bazargur, B., Bataa, O., & Budjav, U. (2023). Reliability Study for Communication System: A Case Study of an Underground Mine. *Applied Sciences*, 13(2), 821. <https://doi.org/10.3390/app13020821>
- Bell, R., Warren, V., & Schmidt, R. (2022). *The Application of Concurrent or Sequential Mixed-Methods Research Designs and Their Methodological Implications*:

- Investigating Tacit Knowledge, Its Use, and Application in Automotive Development*. SAGE Publications, Ltd. <https://doi.org/10.4135/9781529604474>
- Ben, J., Mohamed, A. O., & Muduli, K. (2021). Effect of Preventive Maintenance on Machine Reliability in a Beverage Packaging Plant. *International Journal of System Dynamics Applications (IJSDA)*, 10(3), 50–66. <https://doi.org/10.4018/ijstda.2021070104>
- Benel, A. P. (2020). *Propuesta de un sistema de gestión de mantenimiento para aumentar la rentabilidad en la empresa Agroindustrias y Comercia S.A.* [Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/3090/1/TL_BenelBautistaAmanda.pdf
- Cabrera, O., Tejada, J., Llontop, J., Mendoza, P., Alvarez, J. C., & Demirkesen, S. (2023). A validation model to reduce non-contributory time based on Lean tools: Case of a construction company in Perú. *Cogent Engineering*, 10(1), 2236838. <https://doi.org/10.1080/23311916.2023.2236838>
- Cahyati, S., Puspa, S. D., Himawan, R., Agtirey, N. R., & Leo, J. A. (2024). Optimization of preventive maintenance on critical machines at the Sabiz 1 plant using Reliability-Centered Maintenance method. *Sinergi (Indonesia)*, 28(2), 355–368. <https://doi.org/10.22441/sinergi.2024.2.015>
- Campos-López, O., Tolentino-Eslava, G., Toledo-Velázquez, M., & Tolentino-Eslava, R. (2019). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. *Científica*, 23(1), 51–59. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61458265006>
- Canahua, N. (2021). Implementación de la metodología TPM-Lean Manufacturing para mejorar la eficiencia general de los equipos (OEE) en la producción de repuestos en una empresa metalmeccánica. *Industrial data*, 24(1), 49–76.
- Castro, J. (2020). *Aplicación de herramientas de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para homologar procesos de laboratorio de materiales de la EPIMMEM*. Universidad Católica de Santa María.
- Castro Ricaldi, C. V. (2024). *Plan de mantenimiento RCM para incrementar la disponibilidad del proceso de preparación de jarabe para gaseosa en empresa Backus-Johnson SA*.
- Ccoñas, M. M. (2022). *Identificación de fallas funcionales para implementar plan de mantenimiento preventivo del Apron Fedeer en la Sociedad Minera Austria Duvaz*.
- Cedeño-Moreira, W. J., & Gorozabel-Chata, F. B. (2021). Análisis de criticidad del equipamiento industrial de la línea de bovinos de un centro de faenamiento. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*. ISSN: 2737-6249., 4(8 Ed. esp.), 49–65.

- Chavez, E., Ortega, C., Rubiños, S., Cuzcano, A., Tejada, A., Mendoza, J., & Huarcaya, E. (2023). Implementation of a maintenance area to increase the profitability of the sausage plant of the company San Fernando S.A. *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology, 2023-July*. <https://doi.org/10.18687/laccei2023.1.1.1234>
- Chen, W., Li, M., Pei, T., Sun, C., & Lei, H. (2024). Reliability-Based Model for Incomplete Preventive Replacement Maintenance of Photovoltaic Power Systems. *Energy Engineering*, 121(1), 125–144. <https://doi.org/10.32604/ee.2023.042812>
- Chundhoo, V., Chattopadhyay, G., Karmakar, G., & Appuhamillage, G. K. (2025). Embedding risk in total productive maintenance model. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 1–18. <https://doi.org/10.1007/s13198-025-02736-1>
- Ciani, L., Guidi, G., Patrizi, G., & Galar, D. (2021). Condition-based maintenance of hvac on a high-speed train for fault detection. *Electronics (Switzerland)*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/electronics10121418>
- Ciuła, J., Kowalski, S., Generowicz, A., Barbusiński, K., Matuszak, Z., & Gaska, K. (2023). Analysis of Energy Generation Efficiency and Reliability of a Cogeneration Unit Powered by Biogas. *Energies*, 16(5), 2180. <https://doi.org/10.3390/en16052180>
- Condor Nauca, N. M., & Vasquez Fernandez, K. E. (2025). *Mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de equipos en una empresa azucarera, Chiclayo–2024*.
- Condori-Ojeda, P. (2020). *Universo, población y muestra*.
- Cruzado, R. J. (2020). *Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) a bombas de carga en una refinería* [Universidad de Piura]. <https://pirhua.udep.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/2e11c521-bdc1-4713-a5a0-b61fb451270c/content>
- Cueva, T., Jara, O., Arias, J. L., Flores, F. A., & Balmaceda, C. A. (2023). Métodos mixtos de investigación para principiantes. En *Métodos mixtos de investigación para principiantes*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.106>
- da Silva, E. T., Achcar, J. A., & Piratelli, C. L. (2020). STRATEGIC FORMULATION OF INDUSTRIAL MAINTENANCE BASED ON EQUIPMENT RELIABILITY IN A SUGAR AND ETHANOL PRODUCTION PLANT. *INDEPENDENT JOURNAL OF MANAGEMENT & PRODUCTION*, 11(7), 2592–2612. <https://doi.org/10.14807/ijmp.v11i7.1145>
- da Silva, R. F., Melani, A. H. D. A., Michalski, M. A. D. 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>

- Dashtaki, M. R., Jafari, A. J., & Hoseinie, S. H. (2025). Development of a new method for maintainability and downtime analysis of mining machinery. *Scientific Reports*, *15*(1), 4565. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-88505-3>
- Daya, A. A., & Lazakis, I. (2024). Systems Reliability and Data Driven Analysis for Marine Machinery Maintenance Planning and Decision Making. *Machines*, *12*(5), 294. <https://doi.org/10.3390/machines12050294>
- De La Hoz, E., González, Á. L., & Santana, A. (2016). Metodología de medición del potencial exportador de las organizaciones empresariales. *Información tecnológica*, *27*(6), 11–18.
- de Oliveira, M. M., & de Oliveira, P. M. F. (2023). MAINTENANCE STRATEGY BASED ON RELIABILITY: CASE STUDY OF A COMPANY IN THE ELECTRIC SECTOR. *Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção*, *10*(18), 25–42. <https://doi.org/10.5380/relainep.v10i18.87068>
- Di Nardo, M., Converso, G., Castagna, F., & Murino, T. (2021). Development and implementation of an algorithm for preventive machine maintenance. *Engineering Solid Mechanics*, *9*(4), 347–362. <https://doi.org/10.5267/j.esm.2021.7.003>
- Domínguez-Arista, D. R., & Rosales-Ortega, R. (2024). La producción de sal en el sur de Puebla: entre la sustentabilidad y la construcción de la gobernanza territorial. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*. <https://doi.org/10.24836/es.v34i63.1436>
- Donoso, S., Hernández, A., Pierre, R., & Flores, D. (2023). *Técnica de Jerarquización de Activos MCCR: Matriz de Criticidad Cualitativa de Riesgo. Caso de estudio: Aplicación del modelo MCCR en equipos de producción de la maestría MTCH*.
- Espín, H. I. (2018). *El RCM (Mantenimiento centrado en la confiabilidad) de los equipos del área húmeda y de acabados del cuero de la empresa Tenería Díaz Cía. Ltda.* [Universidad Técnica de Ambato]. <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/28584>
- Fuadiya, S. L., & Widjajati, E. P. (2022). Analysis of sag mill machine performance using overall equipment effectiveness and failure model and effects analysis method. *International Journal of Industrial Optimization*, *3*(2), 141–153. <https://doi.org/10.12928/ijio.v3i2.6701>
- Fuentes, E. A. (2023). *DISEÑO DE UN MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LOS ENFOQUES TPM Y RCM, PARA OPTIMIZAR LAS OPERACIONES Y PROCESOS DE UNA PLANTA DE TRANSFORMACIÓN DE GRANOS BÁSICOS UBICADA EN LA REGIÓN NORTE DE GUATEMALA* [Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/19531>

- García, F. J. Á., & Salgado, D. R. (2022). Analysis of the Influence of Component Type and Operating Condition on the Selection of Preventive Maintenance Strategy in Multistage Industrial Machines: A Case Study. *Machines*, 10(5), 385. <https://doi.org/10.3390/machines10050385>
- García, P. M. C., Espinosa, F. J. M., & Polo, P. H. S. (2022). Diseño de un sistema de gestión por procesos. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 5, 167–175.
- García, R. A. (2022). *Análisis del estado actual de las maquinarias pesadas de la Empresa Kumit Constratistas & Consultores SRL y su incidencia en la disponibilidad.*
- Geisbush, J., & Ariaratnam, S. T. (2023). Failure Prevention in Large-Diameter Water Pipelines Using Reliability-Centered Maintenance. *WATER*, 15(24). <https://doi.org/10.3390/w15244283>
- Gidiagba, J. O., Leonard, J., Ogunjobi, O. A., Ofonagoro, K. A., & Daraojimba, C. (2023). SECURING LNG TERMINALS RELIABILITY: A COMPREHENSIVE LITERATURE REVIEW OF RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE STRATEGIES. *Economic Growth and Environment Sustainability*, 2(2), 112–116. <https://doi.org/10.26480/egnes.02.2023.112.116>
- González-López, D. A., & Mago-Ramos, M. G. (2024). Preventive maintenance plan for SKF Latin Trade SAS equipment | Plan de mantenimiento preventivo para los equipos de la empresa SKF Latin Trade SAS. *DYNA (Colombia)*, 91(233), 28–34. <https://doi.org/10.15446/dyna.v91n233.112527>
- Guevara Mondragon, K. A. (2020). *Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad de la línea de producción en la empresa Gemar Group EIRL para disminuir sus utilidades no percibidas.*
- Gupta, N., Saini, M., & Kumar, A. (2020). Operational availability analysis of generators in steam turbine power plants. *SN Applied Sciences*, 2(4), 779. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2520-y>
- Haddaway, N. R., Page, M. J., Pritchard, C. C., & McGuinness, L. A. (2022). *PRISMA2020* : An R package and Shiny app for producing PRISMA 2020-compliant flow diagrams, with interactivity for optimised digital transparency and Open Synthesis. *Campbell Systematic Reviews*, 18(2). <https://doi.org/10.1002/cl2.1230>
- He, Y., Wan, Z., Tang, G., Hao, G., Wang, K., & Yan, Q. (2024). Analysis of Equipment Management Methods for Pumped Storage Power Stations Under the “Dual-Carbon” Goals. *E3S Web of Conferences*, 520, 3011. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452003011>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). Las tres rutas de la investigación científica: Enfoques cuantitativo, cualitativo y mixto. *Hernández-Sampieri R. Metodología de la investigación*, 7.

- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2020). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mcgraw-hill México.
- Herrera, D. (2022). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para una industria química alimenticia en la ciudad de Guayaquil* [UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA DEL ECUADOR]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22435>
- International Organization for Standardization. (2016). *ISO 14224:2016: Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*. <https://www.iso.org/standard/64076.html>
- Ivančan, J., & Lisjak, D. (2021). New FMEA Risks Ranking Approach Utilizing Four Fuzzy Logic Systems. *Machines*, 9(11), 292. <https://doi.org/10.3390/machines9110292>
- Liu, Y., Tang, Y., Wang, P., Song, X., & Wen, M. (2024). Reliability-Centered Preventive Maintenance Optimization for a Single-Component Mechanical Equipment. *SYMMETRY-BASEL*, 16(1). <https://doi.org/10.3390/sym16010016>
- Manzini, F. R. (2023). Muestreo en investigaciones psicológicas. *Libros de Cátedra*.
- Markic, L. (2024). *Gestión del mantenimiento de activos físicos de una planta de tratamiento de residuos petroleros*. Universidad Nacional del Comahue.
- Martins, L., Silva, F. J. G., Pimentel, C., Casais, R. B., & Campilho, R. D. S. G. (2020). Improving Preventive Maintenance Management in an Energy Solutions Company. *Procedia Manufacturing*, 51, 1551–1558. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.216>
- Mejia, J. P., & Ibaran, J. L. (2021). *Plan de mantenimiento preventivo basado en el RCM, para mejorar la disponibilidad a las maquinarias de una empresa metal mecánica de la Región*. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/91119>
- Mendoza, S. H., & Avila, D. D. (2020). Técnicas e instrumentos de recolección de datos. *Boletín científico de las ciencias económico administrativas del ICEA*, 9(17), 51–53.
- Morales, P., & Rodríguez, L. (2016). Aplicación de los coeficientes correlación de Kendall y Spearman. *Agrollanía*, 13.
- Moreira, A. (2022). *Aplicación de mantenimiento productivo total (TPM) para el mejoramiento de los procesos operativos del taller mecánico industrial en una Unidad Educativa de la ciudad de Guayaquil* [Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22961/1/UPS-GT003900.pdf>
- Mosquera, P. M. (2022). *Plan de mantenimiento mediante el análisis AMEF para incrementar la disponibilidad mecánica del scoop R1600H en la unidad minera Andaychagua* [Universidad Nacional del Centro del Perú]. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/20.500.12894/8374/1/T010_74046602_M%281%29.pdf

- Mucha-Hospinal, L. F., Chamorro-Mejía, R., Oseda-Lazo, M. E., & Alania-Contreras, R. D. (2021). Evaluación de procedimientos empleados para determinar la población y muestra en trabajos de investigación de posgrado. *Desafíos*, 12(1), 50–57.
- Nganga, P., of Technology, D. of M. E., Wakiru, J., & Muchiri, P. (2023). Maintenance Performance Optimization for Critical Subsystems in Cement Pre-Grinding Section: A Case Study Approach. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 14(3), 200–213. <https://doi.org/10.24867/ijiem-2023-3-333>
- Nugraha, T. T., Atmaji, F. T. D., & Salma, S. A. (2021). Reliability, Availability, Maintainability, and Safety Analysis of Finger Joint Fu-King Furnimate Machine in Wood Manufacturing Industry. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 20(2), 247–255. <https://doi.org/10.23917/jiti.v20i2.15591>
- Nurrahman, F., & Atmaji, F. T. D. (2020). Performance assessment analysis of UHF machines using Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) analysis methods. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 830(3), 32087. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/830/3/032087>
- Okirie, A. J., Barnabas, M., Ejomarie, E., & Asomie, A. S. (2024). Understanding deviations from original equipment manufacturers' maintenance recommendations: reasons, barriers, and benefits. *Journal of Engineering and Applied Science*, 71(1), 219. <https://doi.org/10.1186/s44147-024-00563-y>
- Olawale, D. A., Ogheneruona, E. D., & Ayoade, O. K. (2023). Development of Maintenance Management Strategy Based on Reliability Centered Maintenance for Marginal Oilfield Production Facilities. *Engineering*, 15(03), 143–162. <https://doi.org/10.4236/eng.2023.153012>
- Ordoñez Gamarra, R. J., Rodríguez, S., & Yupanqui, E. (2024). Implementation of reliability-centered maintenance (RCM) to improve the availability of CL120 Freightliner tractors in J&J Transportes y Soluciones Integrales Inc. *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2024.1.1.577>
- Orellana, F., Durán, O., Vergara, J. I., & Arata, A. (2024). Maintainability Analysis of Remotely Operated LNG Marine Loading Arms Based on UNE 151001 Standard. *Machines*, 12(6), 407. <https://doi.org/10.3390/machines12060407>
- Ortiz, G. (2015). La Encuesta-Definición, diseño y operacionalización. *Técnicas de Investigación Cuantitativas y Cualitativas*.
- Oskouei, S. F. S., Abapour, M., & Beiraghi, M. (2024). Identifying critical components for railways rolling stock reliability: a case study for Iran. *SCIENTIFIC REPORTS*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-62841-2>
- Pachao Carbajal, J. R. (2022). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo programado para mejorar la disponibilidad y confiabilidad de la flota de camiones 797F en el*

proyecto operaciones Mina Toquepala de la empresa Ferreyros SA. Universidad Continental.

- 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>
- Patil, S. S., Bewoor, A. K., Kumar, R., Ahmadi, M. H., Sharifpur, M., & PraveenKumar, S. (2022). Development of Optimized Maintenance Program for a Steam Boiler System Using Reliability-Centered Maintenance Approach. *SUSTAINABILITY*, 14(16). <https://doi.org/10.3390/su141610073>
- Pinto, G., Silva, F. J. G., Baptista, A., Fernandes, N. O., Casais, R., & Carvalho, C. (2020). TPM implementation and maintenance strategic plan – a case study. *Procedia Manufacturing*, 51, 1423–1430. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.198>
- Prado, J. B. (2022). *Gestión de mantenimiento para reducir costos por paradas no planificadas en la flota de palas hidráulicas Hitachi en minería superficial en minera Yanacocha 2021.*
- Ramadhan, W. D., & Nurhidayat, A. E. (2022). ANALISIS PERAWATAN MESIN DENGAN MENGGUNAKAN METODE REABILITY CENTERED MAINTENANCE DAN FUZZY FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS. *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, 3(8).
- Ramírez-Chávez, Í., Chuchuca-Aguilar, F., Erazo-Bone, R., Silva-Zea, R., Freire-Caiza, J., & Mármol-Hermosa, D. (2021). Development of Reliability Centered Maintenance Plan RCM, through Pulling Operations to Wells of a Marginal Oil Field. *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology, 2021-July*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.184>
- Rodríguez, I. (2024). *Modelo de logística inversa para la sustentabilidad ambiental de la empresa Dinamo Consulting S. A., Ubicada en la ciudad de Guayaquil-Ecuador [Universidad Estatal Península de Santa Elena]*. <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/12547/1/UPSE-TII-2025-0008.pdf>
- Rodriguez-Padial, N., Marin, M. M., & Domingo, R. (2024). Improvement of Industrial Maintenance Plans through Assistance-Driven Reliability-Centered Maintenance and Case-Based Reasoning Design. *ELECTRONICS*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/electronics13030639>
- SAE. (2024). *Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes*. https://doi.org/10.4271/JA1011_202411
- Sagharidooz, M., Soltanali, H., Farinha Jose Torres and Raposo, H. D. N., & de-Almeida-e-Pais, J. E. (2024). Reliability, Availability, and Maintainability Assessment-Based

- Sustainability-Informed Maintenance Optimization in Power Transmission Networks. *SUSTAINABILITY*, 16(15). <https://doi.org/10.3390/su16156489>
- Salawu, E. Y., Akerekan, O. E., Afolalu, S. A., Kayode, J. F., Ongbali, S. O., Edun, B. M., Airewa, I., & Awoyemi, O. O. (2023). Condition monitoring and reliability assessment, an essential tool for Boiler Plant Maintenance - A review. *E3S Web of Conferences*, 430, 1228. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343001228>
- Santabàrbara, J. (2019). Cálculo del intervalo de confianza para los coeficientes de correlación mediante sintaxis en SPSS. *REIRE Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 12(2), 1–14.
- Selvik, J. T., Abrahamsen, E. B., & Engemann, K. J. (2020). Definition of reliability and maintenance concepts in oil and gas – validity aspects. *Safety and Reliability*, 39(2), 134–164. <https://doi.org/10.1080/09617353.2020.1759258>
- Shannon, N., Trubetskaya, A., Iqbal, J., & McDermott, O. (2023). A total productive maintenance & reliability framework for an active pharmaceutical ingredient plant utilising design for Lean Six Sigma. *Heliyon*, 9(10), e20516. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20516>
- Sielaff, L., & Lucke, D. (2021). An Approach for an Integrated Maintenance Strategy Selection considering the Context of the Value-Adding Network. *Procedia CIRP*, 104, 815–820. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.137>
- Solano, D. A. C., & Parra, C. (2021). *Trabajo Especial como requisito para optar por la Especialización avalada por ASME: Ingeniería y Gestión del Mantenimiento para la mención en Confiabilidad: APLICACIÓN DE SISTEMAS DE MONITOREO REMOTO TENDIENTES A MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL DE CRUDO DE LA SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES PUTUMAYO (SOP)-ECOPETROL SA.*
- Solórzano-Calero, E. M., & Espinosa-Delgado, L. F. (2021). Modelo logístico de gestión de mantenimiento como estrategia de mejora a la disponibilidad. Caso de estudio: Unidad de Mantenimiento del GADMEC. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*. ISSN: 2737-6249., 4(8 Ed. esp.), 30–48.
- Sunday, A. A., Omolayo, M. I., Okwilagwe, O., Moses, M. E., & Bernard, A. A. (2021). Evaluation of Effective Maintenance and Reliability Operation Management – A Review. *E3S Web of Conferences*, 309, 1012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130901012>
- Torres, R., & Hernández-Sampieri, R. (2019). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. *Mexicana. México*.
- Tripathi, A., & Hari Prasad, M. (2024). RCM based optimization of maintenance strategies for marine diesel engine using genetic algorithms. *INTERNATIONAL JOURNAL OF*

- SYSTEM ASSURANCE ENGINEERING AND MANAGEMENT*, 15(8), 3757–3775.
<https://doi.org/10.1007/s13198-024-02374-z>
- Uribe Muñoz, D. (2023). *Introducción a un proceso de gestión de mantenimiento para la empresa Agrinsa SA*.
- 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*, 038, 15–31. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2020.n038.4812>
- Vega-Campos, M. Á. (2022). *The role of the state of the art in the investigative process*.
- Vera, Á. J. (2024). *Evaluación ergonómica de la postura laboral utilizando la metodología rula en el garaje municipal del GAD, La Libertad, Ecuador, 2024*. Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- Vera-Garcia, F., Antonio Pagan Rubio, J., Hernandez Grau, J., & Albaladejo Hernandez, D. (2020). Improvements of a Failure Database for Marine Diesel Engines Using the RCM and Simulations. *ENERGIES*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/en13010104>
- Widotomo, G., Nurkertamanda, D., & Suliantoro, H. (2024). Improving Analysis of Risk-Based Maintenance Management Strategies Through Reliability Centered Maintenance. Case Study : Coal Crushing Plant. Central Kalimantan. Indonesia. *Advance Sustainable Science, Engineering and Technology*, 6(1). <https://doi.org/10.26877/asset.v6i1.17529>
- Yanarico, M. Y. (2024). *Niveles de exposición al ruido ocupacional y la percepción de los operadores de locomotoras en la Compañía Orión Arequipa 2023*.
- Yang, Y.-J., Zhang, X.-Y., Zhao, Z.-J., Wang Gui-Hua and He, Y.-J., Wu, Y.-L., & Li, J. (2020). Applying Reliability Centered Maintenance (RCM) to Sampling Subsystem in Continuous Emission Monitoring System. *IEEE ACCESS*, 8, 55054–55062. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2980630>
- Zeng, P., Shao, W., & Hao, Y. (2021a). Study on preventive maintenance strategies of filling equipment based on reliability-cantered maintenance. *Tehnicki Vjesnik*, 28(2), 689–697. <https://doi.org/10.17559/TV-20190404054849>
- Zeng, P., Shao, W., & Hao, Y. (2021b). Study on preventive maintenance strategies of filling equipment based on reliability-cantered maintenance. *Tehnicki Vjesnik*, 28(2), 689–697. <https://doi.org/10.17559/TV-20190404054849>
- Zeng, Q., Liu, W., Wan, L., Wang, C., & Gao, K. (2020). Maintenance Strategy Based on Reliability Analysis and FMEA: A Case Study for Hydraulic Cylinders of Traditional Excavators with ERRS. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020(1), 1–11. <https://doi.org/10.1155/2020/2908568>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA



APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA LA MEJORA DE DISPONIBILIDAD OPERATIVA EN ECUSAAL S.A. COMUNA MONTEVERDE-ECUADOR					
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	JUSTIFICACION	DISEÑO METODOLÓGICO
Problema General: ¿Como la propuesta de aplicación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad puede contribuir en la mejora significativa de la disponibilidad operativa de los equipos del área de lavado en la empresa Ecusaal S.A. comuna Monteverde-Ecuador?	Objetivo General: Propone la aplicación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad que contribuya en la mejora significativa de la disponibilidad operativa de los equipos del área de lavado en la empresa Ecusaal S.A. comuna Monteverde-Ecuador	Hipotesis General: La propuesta de aplicación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) contribuye en la mejora significativa de la disponibilidad operativa de los equipos del área de lavado en la empresa Ecusaal S.A. comuna Monteverde-Ecuador	Variable Independiente: Mantenimiento centrado en la confiabilidad	Prácticas: Porque permite la conservación de los equipos productivos por medio de levantamiento de medidas que pueden dar la confiabilidad que se necesita para poder operar en los riesgos de salir para de producción.	Tipo de estudio: Casos reales
Objetivos Específicos: PE1: ¿Cuáles son los criterios más adecuados para clasificar los fuentes bibliográficas en relación con el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) y la disponibilidad operativa?	Objetivos Específicos: DE1: Desarrollar los sustento teórico sobre el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) y la Disponibilidad Operativa, mediante un estado del arte basado en una revisión sistemática de la literatura y un análisis bibliométrico, para el fundamentos de las variables de estudio y los enfoques metodológicos.	Hipotesis Específicas: HE1: La comunicación de fuentes bibliográficas mediante análisis bibliométrico ayuda para la clasificación de las variables "Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad", y "Disponibilidad Operativa" y desarrollo del enfoque, estrategias, y distribuciones usadas en este campo.	Variable dependiente: Disponibilidad operativa	Prácticas: Porque mejora los indicadores tanto de eficiencia y efectividad por medio de levantamiento de medidas para poder generar mejores prácticas y obtener un mejor posicionamiento en base a productividad y calidad del producto.	Diseño: Sistemático no experimental
PE2: ¿Como se puede diseñar un marco metodológico basado en investigaciones previas que permitan una implementación efectiva del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), y elaboración de técnicas e instrumentos para la recolección de datos?	DE2: Elaborar un marco metodológico fundamentado en estudios previos sobre el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), mediante metodologías, técnicas de recolección y análisis de datos, que permita la construcción de un modelo orientado a la implementación de la metodología.	HE2: El establecimiento de un marco metodológico basado en investigaciones previas agitando una necesidad ayuda mucho para la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), y elaboración de técnicas e instrumentos para la recolección de datos.		Metodología: Porque con la metodología adecuada, se puede identificar, como también gestionar de una manera eficiente las fallas potenciales que surgen en los equipos.	Publicación: 22 Personas
PE3: De qué manera puede formularse una propuesta técnica de mantenimiento basado en RCM que considere la criticidad de los activos, los modos de falla y las funciones operativas, constructivas e operativas de la disponibilidad operativa de los equipos del área de lavado en Ecusaal S.A.?	DE3: Elaborar una propuesta técnica de mantenimiento basado en RCM que permita la mejora de la disponibilidad operativa de los equipos en el área de lavado, considerando la criticidad de los activos, modos de falla y funciones requeridas.	HE3: La elaboración de una propuesta de mantenimiento mediante la metodología mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) ayuda para la mejora de disponibilidad de los equipos del área de lavado de Ecusaal S.A. comuna Monteverde-Ecuador.		Metodología: Porque con la metodología adecuada, se puede identificar, como también gestionar de una manera eficiente las fallas potenciales que surgen en los equipos.	Mostró: 21 Personas

TURBACO ESPAÑA MARIO DAVID UIC 01



Anexo 2. Check List

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL					
LISTA DE VERIFICACIÓN			LISTA DE VERIFICACIÓN		
Nombre del equipo	Área	Área de lavado de sal	Nombre del equipo	Área	Área de lavado de sal
Objetivo	Objetivo	Objetivo	Objetivo	Objetivo	Objetivo
Nº	Criterio evaluado	Escala Objetiva	Nº	Criterio evaluado	Escala Objetiva
1		Óptimo (5)	1		Óptimo (5)
		Buena (4)			Buena (4)
		Regular (3)			Regular (3)
		Deficiente (2)			Deficiente (2)
		Critico (1)			Critico (1)
2		Óptimo (5)	2		Óptimo (5)
		Buena (4)			Buena (4)
		Regular (3)			Regular (3)
		Deficiente (2)			Deficiente (2)
		Critico (1)			Critico (1)
3		Óptimo (5)	3		Óptimo (5)
		Buena (4)			Buena (4)
		Regular (3)			Regular (3)
		Deficiente (2)			Deficiente (2)
		Critico (1)			Critico (1)
4		Óptimo (5)	4		Óptimo (5)
		Buena (4)			Buena (4)
		Regular (3)			Regular (3)
		Deficiente (2)			Deficiente (2)
		Critico (1)			Critico (1)
5		Óptimo (5)	5		Óptimo (5)
		Buena (4)			Buena (4)
		Regular (3)			Regular (3)
		Deficiente (2)			Deficiente (2)
		Critico (1)			Critico (1)

Anexo 3.
Ficha técnica

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL 		
Ficha Técnica		
Código de Equipo		
Nombre del Equipo		
Modelo		
Año de Fabricación / Instalación		
Área		
Datos Operativos Generales		
Horas de Operación		
Días de Operación		
Tipo de operación	Continua	
	Intermitente	
Condiciones ambientales		
Historial de fallas		
Fecha de Ocurrencia		
Descripción de la falla		
Modo de falla		
Causa Raíz		
Variables Cuantificadas		
Frecuencia o número de fallas		
Tiempo total de inactividad por reparaciones		
Número total de reparaciones		
Tipo de mantenimiento aplicado	Correctivo	
	Preventivo	
	Predictivo	
Impacto de la Falla		
Impacto en la Producción		
Afectación a otros equipos o procesos		
Costo estimado de parada		
Acciones tomadas		
Actividad correctiva tomada		
Repuestos usados		
Tiempo de ejecución		
Personal involucrado		
Observaciones		

Anexo 4.
Cuestionario Estructurado

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL 	
CUESTIONARIO ESTRUCTURADO PARA RECOLECCIÓN DE DATOS	
Objetivo:	Conocer la percepción de los operarios y el jefe que se encuentran relacionados con el área de lavado de sal en Ecusal S.A. respecto a la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad para la mejora de la disponibilidad operativa.
Indicaciones:	El cuestionario se encuentra direccionado con fines académicos y esta elaborado con preguntas cerradas, en conjunto a especificaciones. Responder respecto a la percepción sobre el estado actual de cada punto en la empresa.
Nombres y Apellidos	
Cargo	
Fecha	
CUESTIONARIO	
11.	¿Conoce usted o su equipo las funciones operativas de los equipos que utiliza o supervisa? 1. <input type="checkbox"/> No 2. <input type="checkbox"/> Tal vez 3. <input type="checkbox"/> Si
12.	¿Está usted al tanto de los modos de fallas más frecuentes por cada equipo? 1. <input type="checkbox"/> No 2. <input type="checkbox"/> Tal vez 3. <input type="checkbox"/> Si
13.	¿Tiene conocimiento sobre las consecuencias que ocasionan las fallas de los equipos? 1. <input type="checkbox"/> No 2. <input type="checkbox"/> Tal vez 3. <input type="checkbox"/> Si
14.	¿Se considera la criticidad de los equipos para priorizar acciones operativas o de mantenimiento? 1. <input type="checkbox"/> No 2. <input type="checkbox"/> Tal vez 3. <input type="checkbox"/> Si
15.	Según su experiencia ¿Con qué frecuencia fallan los equipos del área de lavado de sal? 3. <input type="checkbox"/> Alto (Cada día) 2. <input type="checkbox"/> Medio (Cada semana) 1. <input type="checkbox"/> Bajo (Cada mes)
16.	¿Se realizan tareas de mantenimiento planificadas en los equipos que usted opera o supervisa? 1. <input type="checkbox"/> No 2. <input type="checkbox"/> Tal vez 3. <input type="checkbox"/> Si
17.	¿Qué tipo de mantenimiento se realiza con mayor frecuencia en los equipos que maneja o conoce? 1. <input type="checkbox"/> Correctivo 2. <input type="checkbox"/> Predictivo 3. <input type="checkbox"/> Preventivo
18.	¿Tiene conocimiento o acceso a los registros de mantenimiento de los equipos? 1. <input type="checkbox"/> No 2. <input type="checkbox"/> Tal vez 3. <input type="checkbox"/> Si
19.	¿Conoce usted los principios y beneficios del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)? 1. <input type="checkbox"/> No 2. <input type="checkbox"/> Tal vez 3. <input type="checkbox"/> Si
110.	¿Sabe si los equipos cuentan con manuales técnicos disponibles? 1. <input type="checkbox"/> No 2. <input type="checkbox"/> Tal vez 3. <input type="checkbox"/> Si

111.	Según su experiencia, ¿Qué tan bien están funcionando los equipos en comparación con el tiempo que deberían trabajar? 1. <input type="checkbox"/> Bajo 2. <input type="checkbox"/> Medio 3. <input type="checkbox"/> Alto
112.	¿Qué tan frecuentes son las paradas inesperadas de los equipos en el área de trabajo? 1. <input type="checkbox"/> Bajo 2. <input type="checkbox"/> Medio 3. <input type="checkbox"/> Alto
113.	¿Cuánto tiempo, en general, permanecen detenidos los equipos cuando fallan? 1. <input type="checkbox"/> Bajo (menos de 2 horas) 2. <input type="checkbox"/> Medio (entre 2 y 6 horas) 3. <input type="checkbox"/> Alto (más de 6 horas)
114.	Desde su punto de vista, ¿Existen factores operativos que afecten negativamente la disponibilidad de los equipos (como sobrecarga o uso inadecuado)? 1. <input type="checkbox"/> No 2. <input type="checkbox"/> Tal vez 3. <input type="checkbox"/> Si
115.	¿Con qué frecuencia se presentan fallas en los equipos mientras están en operación? 3. <input type="checkbox"/> Alto (fallan con menos de <50 horas de uso) 2. <input type="checkbox"/> Medio (fallan entre 50 y 100 horas) 1. <input type="checkbox"/> Bajo (Fallan después de más de 100 horas)
116.	Según experiencia, ¿Cuánto tiempo toma, en promedio, en reparar una falla? 3. <input type="checkbox"/> Alto (más de 6 horas) 2. <input type="checkbox"/> Medio (entre 2 y 6 horas) 1. <input type="checkbox"/> Bajo (menos de 2 horas)
117.	Según su experiencia, ¿Cuánto tiempo adicional tarda un equipo en volver a operar por falta de repuestos? 3. <input type="checkbox"/> Alto (más de tres días) 2. <input type="checkbox"/> Medio (entre 1 y 3 días) 1. <input type="checkbox"/> Bajo (menos de 1 día)
118.	¿Cómo calificaría usted la disponibilidad de los equipos para realizar su trabajo? 3. <input type="checkbox"/> Alto (Siempre disponibles) 2. <input type="checkbox"/> Medio (Disponibles algunas veces) 1. <input type="checkbox"/> Bajo (Raramente disponibles)
119.	Según su experiencia, ¿Qué nivel de impacto tienen las paradas en la producción de la planta? 1. <input type="checkbox"/> Bajo 2. <input type="checkbox"/> Medio 3. <input type="checkbox"/> Alto
120.	¿Cree usted que un plan de mantenimiento preventivo basado en RCM ayudaría a mejorar la confiabilidad de los equipos? 1. <input type="checkbox"/> No 2. <input type="checkbox"/> Tal vez 3. <input type="checkbox"/> Si

Anexo 5.

Solicitud de Aplicación de instrumento

La Libertad, 2 de mayo del 2025

SOLICITUD PARA APLICAR INSTRUMENTO DE CUESTIONARIO

Ing. Xavier Pizarro

Jefe de Producción Pacoa Ecuasal S.A

Yo, **Mario David Tumbaco España** con C.I: **2450311309** estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena "UPSE", me encuentro desarrollando mi proyecto de investigación titulado "Aplicación De La Metodología De Mantenimiento Centrado En La Confiabilidad Para La Mejora De Disponibilidad Operativa En Ecuasal S.A, Comuna Monteverde-Ecuador", bajo la asesoría de Ing. Marco Bermeo, necesito aplicar el instrumento a una muestra de 21 personas para la aplicación del (cuestionario), para comprobar la confiabilidad, la validez de criterio y la validez de constructo del instrumento construido para medir la variable dependiente e independiente de investigación.

Por esto motivo le solicito a usted, me brinde las facilidades y emitir la constancia en la que me autorice la aplicación del instrumento para la recolección de datos del cuestionario en la empresa Ecuasal S, A. bajo su dirección.

Atentamente,



Mario David Tumbaco España

C.I 2450311309



Anexo 6.

Matriz de constructo

MATRIZ DE VALIDACIÓN POR CRITERIO DE JUICES O JUICIO DE EXPERTOS																
INSTRUMENTO DE VARIABLE DEPENDIENTE E INDEPENDIENTE																
VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES	ITEMS	ESCALA			CRITERIOS DE EVALUACIÓN								OBSERVACIÓN Y/O RECOMENDACIÓN	
				1	2	3	RELACIÓN ENTRE LA VARIABLE Y LA DIMENSIÓN		RELACIÓN ENTRE LA DIMENSIÓN Y EL INDICADOR		RELACIÓN ENTRE EL INDICADOR Y EL ÍTEM		RELACIÓN ENTRE EL ÍTEM Y LA OPCIÓN DE RESPUESTA			
							SI	No	SI	No	SI	No	SI	No		
<p><small>Metodología: Construcción de Constructos de RCM. Según Irujo y Martínez (2014). El RCM es un enfoque de mantenimiento que se centra en asegurar que los equipos y sistemas funcionen de manera confiable y segura. (Gómez, 2014)</small></p>	Identificación de las funciones y de las fallas	Definición de funciones de los equipos	1	¿Conoce usted o su equipo las funciones operativas de los equipos que utiliza o supervisa?						x						
		Identificación de modos de fallas	2	¿Está usted al tanto de los modos de fallas más frecuentes por cada equipo?							x					
		Clasificación de consecuencias de fallas	3	¿Tiene conocimiento sobre las consecuencias que ocasionan las fallas de los equipos?								x				
	Análisis de criticidad	Evaluación de criticidad de los equipos	4	¿Se considera la criticidad de los equipos para priorizar acciones operativas o de mantenimiento?												
		Frecuencia de las fallas de los equipos	5	Según su experiencia ¿Con qué frecuencia fallan los equipos del área de lavado de sal?												
	Condiciones actuales del sistema de mantenimiento	Existencia de tareas planificadas	6	¿Se realizan tareas de mantenimiento planificadas en los equipos que usted opera o supervisa?												
		Tipos de mantenimientos aplicados	7	¿Qué tipo de mantenimiento se realiza con mayor frecuencia en los equipos que maneja o conoce?												
		Registros de mantenimientos realizados	8	¿Tiene conocimiento o acceso a los registros de mantenimiento de los equipos?												
	Nivel de preparación para aplicar la metodología RCM	Conocimiento del personal sobre el enfoque de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad	9	¿Conoce usted los principios y beneficios del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)?												
		Existencias o procedimientos o manuales técnicos	10	¿Sabe si los equipos cuentan con manuales técnicos disponibles?												
<p><small>Objetivo del Proyecto: La disponibilidad operativa representa la capacidad de los equipos de producir para estar operativos en un momento determinado. (Gómez, T. 2014)</small></p>	Tiempo de operación de los equipos	Horas disponibles respecto a las horas programadas	11	Según su experiencia, ¿Qué tan bien están funcionando los equipos en comparación con el tiempo que deberían trabajar?												
		Frecuencia de paradas no programadas	12	¿Qué tan frecuentes son las paradas inesperadas de los equipos en el área de trabajo?												
	Estado actual de la disponibilidad	Duración promedio de las fallas	13	¿Cuánto tiempo, en general, permanecen detenidos los equipos cuando fallan?												
		Causas operativas frecuentes	14	Desde su punto de vista, ¿Existen factores operativos que afecten negativamente la disponibilidad de los equipos (como sobrecarga o uso inadecuado)?												
	Gestión de los tiempos de parada	Tiempos medio entre fallas (MTBF)	15	¿Con que frecuencia se presentan fallas en los equipos mientras están en operación?												
		Tiempos medio de reparación (MTTR)	16	Según experiencia, ¿Cuánto tiempo toma, en promedio, en reparar una falla?												
		Tiempo espera por repuestos	17	Según su experiencia, ¿Cuánto tiempo adicional tarda un equipo en volver a operar por falta de repuestos?												
	Percepción de los operarios y jefe	Opinión sobre la disponibilidad actual	18	¿Cómo calificaría usted la disponibilidad de los equipos para realizar su trabajo?												
		Impacto de las paradas de producción	19	Según su experiencia, ¿Qué nivel de impacto tienen las paradas en la producción de la planta?												
		Plan de mantenimiento preventivo	20	¿Cree usted que un plan de mantenimiento preventivo basado en RCM ayudaría a mejorar la confiabilidad de los equipos?												

Anexo 7.

Validación de instrumento por Experto 1

Validación de instrumento por Experto 2

Nombre de instrumento: Cuestionario estructurado respecto a la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad

Objetivo: Conocer la percepción de los trabajadores sobre la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad

Dirigido a: jefe y operarios del área de lavado de sal en Ecuasal S, A.

Apellidos y nombres del evaluador: *Velaz Aguayo Alejandro Cristóbal*

Grado académico del experto evaluador: *Ing. Mecánico, PhD.*

Áreas de experiencia profesional: Profesional (x) Educativa (x)


Institución dónde labora: Universidad Estatal Península de Santa Elena

Tiempo de experiencia profesional en el área: *30+*

Valoración:

Bueno	Regular	Malo
X		

La Libertad, 26 de abril del 2025


C.I: *0908182280*
Experto 2

Anexo 8.

Validación de instrumento por Experto 2

Validación de instrumento por Experto 3

Nombre de instrumento: Cuestionario estructurado respecto a la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad

Objetivo: Conocer la percepción de los trabajadores sobre la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad

Dirigido a: jefe y operarios del área de lavado de sal en Ecuasal S, A.

Apellidos y nombres del evaluador: Ing. Gerardo Antonio Herrera Brunett, PhD

Grado académico del experto evaluador: Doctor en Ciencias Ambientales.

Áreas de experiencia profesional: Profesional (x) Educativa (x)


Institución dónde labora: Universidad Estatal Península de Santa Elena

Tiempo de experiencia profesional en el área:

Valoración:

Bueno	Regular	Malo
✓		

La Libertad, 26 de abril del 2024


Ing. Gerardo Antonio Herrera Brunett, PhD
C.I: 0909254260
Experto 3

Anexo 9.

Validación de instrumento por Experto 3

Validación de instrumento por Experto 4

Nombre de instrumento: Cuestionario estructurado respecto a la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad

Objetivo: Conocer la percepción de los trabajadores sobre la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad

Dirigido a: jefe y operarios del área de lavado de sal en Ecuasal S. A.

Apellidos y nombres del evaluador: *Victor Matias Pillavagua*

Grado académico del experto evaluador: *Ing - METR.*

Áreas de experiencia profesional: Profesional (x) Educativa (x)


Institución dónde labora: Universidad Estatal Península de Santa Elena

Tiempo de experiencia profesional en el área:

Valoración:

Bueno	Regular	Malo
✓		

La Libertad, 26 de abril del 2025



C.I: *0912164043*
Experto 4

Anexo 10.

Validación de instrumento por Experto 4

Validación de instrumento por Experto 5

Nombre de instrumento: Cuestionario estructurado respecto a la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad

Objetivo: Conocer la percepción de los trabajadores sobre la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad

Dirigido a: Jefe y operarios del área de lavado de sal en Ecuasal S. A.

Apellidos y nombres del evaluador: Ing. Franklin Reyes, MSc.

Grado académico del experto evaluador:

Áreas de experiencia profesional: Profesional (x) Educativa (x)

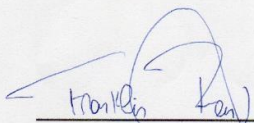
Institución dónde labora: Universidad Estatal Península de Santa Elena

Tiempo de experiencia profesional en el área:

Valoración:

Bueno	Regular	Malo
✓		


La Libertad, 26 de abril del 2024



Ing. Franklin Reyes, MSc.
C.I:
Experto 5


Anexo 11.

Ficha de Validación por Juicio de Experto 1

FICHA DE VALIDACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS DEL CUESTIONARIO																						
Titulo		Aplicación De La Metodología De Mantenimiento Centrado En La Confiabilidad Para La Mejora De Disponibilidad Operativa En Ecuasal S.A. Comuna Monteverde-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	100
		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 a 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 está validando. Deberá colocar la puntuación que considere pertinente a los diferentes enunciados.																	Promedio:	87	Totalmente Adecuado			
La libertad, 26 de abril del 2025																						
Experto: <u>Valiz Aguayo, Alejandro, Cristóbal</u>																						
ORCID: <u>0000-0001-6200-4689</u>																						
Profesión: <u>Eng. Mecánico</u>																						
DNI/CI: <u>0907182230</u>																						
Celular:																						
																	 FIRMA DEL EXPERTO 2					


Anexo 12.

Ficha de Validación por Juicio de Experto 2

FICHA DE VALIDACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS DEL CUESTIONARIO																						
Titulo		Aplicación De La Metodología De Mantenimiento Centrado En La Confiabilidad Para La Mejora De Disponibilidad Operativa En Ecuasal S.A. Comuna Monteverde-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	100
		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 a 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 está validando. Deberá colocar la puntuación que considere pertinente a los diferentes enunciados.																	Promedio:	85,9	Totalmente Adecuado			
La libertad, 26 de abril del 2025																						
Experto: <u>Eng. Granda Herrera, Brenett P.H.R.</u>																						
ORCID: <u>0000-0001-5148-6998</u>																						
Profesión: <u>Electr. en Ciencias Ambientales</u>																						
DNI/CI: <u>0909254260</u>																						
Celular: <u>0982138235</u>																						
																	 FIRMA DEL EXPERTO 3					


Anexo 13.

Ficha de Validación por Juicio de Experto 3

FICHA DE VALIDACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS DEL CUESTIONARIO																																											
Título: Aplicación De La Metodología De Mantenimiento Centrado En La Confiabilidad Para La Mejora De Disponibilidad Operativa En Ecuasal S.A, Comuna Monteverde-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 a 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 está validando. Deberá colocar la puntuación que considere pertinente a los diferentes enunciados.																	Promedio:					87	Totalmente		Adecuado.																		
La libertad, 26 de abril del 2025																																											
Experto:		Franklin Reyes Soriano																																									
ORCID:		0000-0002-9877-5984																																									
Profesión:		Ingeniero, Msc. Estructuras de Acero																																									
DNI/CI:		0912164043																																									
Celular:		0999820204																																									
																	 FIRMA DEL EXPERTO 4																										

Anexo 14.

Ficha de Validación por Juicio de Experto 4

FICHA DE VALIDACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS DEL CUESTIONARIO																																												
Título: Aplicación De La Metodología De Mantenimiento Centrado En La Confiabilidad Para La Mejora De Disponibilidad Operativa En Ecuasal S.A, Comuna Monteverde-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 a 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 está validando. Deberá colocar la puntuación que considere pertinente a los diferentes enunciados.																	Promedio:					87	Totalmente		Adecuado.																			
La libertad, 26 de abril del 2025																																												
Experto:		Franklin Reyes Soriano																																										
ORCID:		0000-0002-0480-9689																																										
Profesión:		Ingeniero, Msc. Estructuras de Acero																																										
DNI/CI:		0902375813																																										
Celular:																																												
																	 FIRMA DEL EXPERTO 5																											

Anexo 16.

Lista de Verificación de Equipos

The image displays eight handwritten verification sheets for industrial engineering equipment at the University of Santa Elena. Each sheet is titled 'UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL'. The sheets are organized into two rows of four. Each sheet contains columns for equipment name, location, status, and other details, with extensive handwritten notes and checkmarks. The sheets are arranged in a grid format, showing a systematic approach to equipment verification across different departments or locations.

Anexo 17.

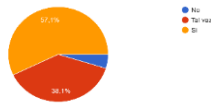
Tabulación de datos SPSS Statistics 27 Cuestionario estructurado

The image shows three screenshots of the SPSS Statistics software interface. The top-left screenshot displays a data entry window with a grid of data points for a questionnaire. The top-right screenshot shows the 'Variables' list, including 'Fase', 'Carrera', 'Especialidad', 'Módulo', 'Semestre', 'Evaluación', 'Nota', and 'Fecha'. The bottom screenshot shows the 'Estadísticas de frecuencia' (Frequency Statistics) window, displaying the distribution of responses for the 'Fase' variable, with a total count of 27 and a list of categories and their respective frequencies.

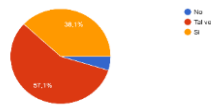
Anexo 18.

Resultados de Cuestionario Estructurado-Preguntas

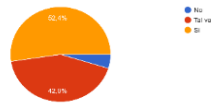
1. ¿Conoce usted o su equipo las funciones operativas de los equipos que utiliza o supervisa?
21 respuestas



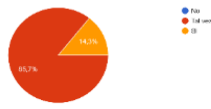
2. ¿Está usted al tanto de los modos de fallas más frecuentes por cada equipo?
21 respuestas



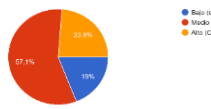
3. ¿Tiene conocimiento sobre las consecuencias que ocasionan las fallas de los equipos?
21 respuestas



4. ¿Se considera la criticidad de los equipos para priorizar acciones operativas o de mantenimiento?
21 respuestas



5. Según su experiencia ¿Con qué frecuencia fallan los equipos del área de lavado de sal?
21 respuestas



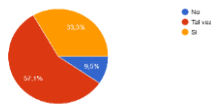
6. ¿Se realizan tareas de mantenimiento planificadas en los equipos que usted opera o supervisa?
21 respuestas



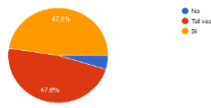
7. ¿Qué tipo de mantenimiento se realiza con mayor frecuencia en los equipos que maneja o conoce?
21 respuestas



8. ¿Tiene conocimiento o acceso a los registros de mantenimiento de los equipos?
21 respuestas



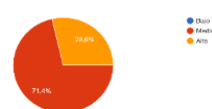
9. ¿Conoce usted los principios y beneficios del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)?
21 respuestas



10. ¿Sabe si los equipos cuentan con manuales técnicos disponibles?
21 respuestas



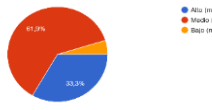
11. Según su experiencia ¿Qué tan bien están funcionando los equipos en comparación con el tiempo que deberían trabajar?
21 respuestas



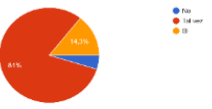
12. ¿Qué tan frecuentes son las paradas inesperadas de los equipos en el área de trabajo?
21 respuestas



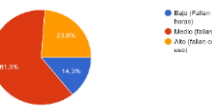
13. ¿Cuánto tiempo, en general, permanecen detenidos los equipos cuando fallan?
21 respuestas



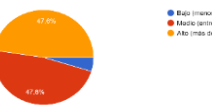
14. Desde su punto de vista ¿Existen factores operativos que afecten negativamente la disponibilidad de los equipos (como sobrecarga o uso inadecuado)?
21 respuestas



15. ¿Con qué frecuencia se presentan fallas en los equipos mientras están en operación?
21 respuestas



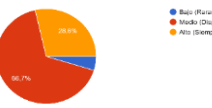
16. Según experiencia ¿Cuánto tiempo toma, en promedio, en reparar una falla?
21 respuestas



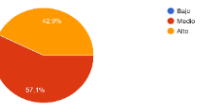
17. Según su experiencia ¿Cuánto tiempo adicional tarda un equipo en volver a operar por falta de repuestos?
21 respuestas



18. ¿Cómo calificaría usted la disponibilidad de los equipos para realizar su trabajo?
21 respuestas



19. Según su experiencia ¿Qué nivel de impacto tienen las paradas en la producción de la planta?
21 respuestas



20. ¿Cree usted que un plan de mantenimiento preventivo basado en RCM ayudaría a mejorar la confiabilidad de los equipos?
21 respuestas

