



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN
CONFIABILIDAD (RCM) PARA BOMBAS Y REDUCTORES DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DEPARTAMENTO DE COGENERACIÓN DE
UN INGENIO AZUCARERO UBICADO EN EL DEPARTAMENTO DE RETALHULEU**

Juan Everardo López García

Asesorado por el Mtro. Ing. Carlos Alejandro Alegre Ordóñez

Guatemala, marzo de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN
CONFIABILIDAD (RCM) PARA BOMBAS Y REDUCTORES DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DEPARTAMENTO DE COGENERACIÓN DE
UN INGENIO AZUCARERO UBICADO EN EL DEPARTAMENTO DE RETALHULEU**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JUAN EVERARDO LÓPEZ GARCÍA

ASESORADO POR EL MTRO. ING. CARLOS ALEJANDRO ALEGRE
ORDÓÑEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, MARZO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Figueroa Vásquez
EXAMINADOR	Ing. Alvarado Antonio Avila Pinzón
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



EEPFI-PP-1578-2022

Guatemala, 7 de noviembre de 2022

Director
Gilberto Morales Baiza
Escuela De Ingenieria Mecanica
Presente.

Estimado Ing. Morales

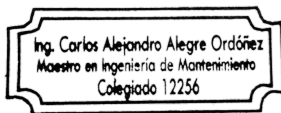
Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD (RCM) PARA BOMBAS Y REDUCTORES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DEPARTAMENTO DE COGENERACIÓN DE UN INGENIO AZUCARERO UBICADO EN EL DEPARTAMENTO DE RETALHULEU.**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gestión del Mantenimiento - Control de efectividad de mantenimiento basado en indicadores (disponibilidad, tiempo entre fallas, criticidad, tiempo medio entre fallas, entre otros)**, presentado por el estudiante **Juan Everardo López García** con cui **2447953391219**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Ingeniería De Mantenimiento.

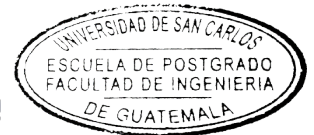
Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"



Mtro. Carlos Alejandro Alegre Ordóñez
Asesor(a)



Mtra. Rocio Carolina Medina Galindo
Coordinador(a) de Maestría

Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP-EIM-1351-2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica de la Facultad de Ingenieria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD (RCM) PARA BOMBAS Y REDUCTORES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DEPARTAMENTO DE COGENERACIÓN DE UN INGENIO AZUCARERO UBICADO EN EL DEPARTAMENTO DE RETALHULEU.**, presentado por el estudiante universitario **Juan Everardo López García**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

The image shows a handwritten signature in black ink on the left, and an official oval stamp on the right. The stamp contains the text 'FACULTAD DE INGENIERIA USAC' at the top, 'DIRECCION' in the center, and 'ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA' at the bottom.

Ing. Gilberto Morales Baiza
Director
Escuela De Ingenieria Mecanica

Guatemala, noviembre de 2022

LNG.DECANATO.OI.267.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD (RCM) PARA BOMBAS Y REDUCTORES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DEPARTAMENTO DE COGENERACIÓN DE UN INGENIO AZUCARERO UBICADO EN EL DEPARTAMENTO DE RETALHULEU**, presentado por: **Juan Everardo López García**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana



Guatemala, marzo de 2023

AACE/gaoc

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN
CONFIABILIDAD (RCM) PARA BOMBAS Y REDUCTORES DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DEPARTAMENTO DE COGENERACIÓN DE
UN INGENIO AZUCARERO UBICADO EN EL DEPARTAMENTO DE RETALHULEU**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 15 de agosto de 2022.


Juan Everardo López García

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por haberme permitido realizar una más de mis metas
Mis padres	Por haberme traído al mundo y guiado con amor, mi eterno agradecimiento por su apoyo para hacer realidad este sueño.
Mis hermanos	Marlen, Fabiola, Gabriela y Mónica López García, por su apoyo y compañía durante mi vida.
Mi esposa e hijos	Hilda Cristina Roldan Ibarra, por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser el alma <i>mater</i> que me permitió nutrirme de conocimientos.
Facultad de Ingeniería	Por proporcionarme los conocimientos que me han permitido realizar este trabajo de graduación.
Ingenio	Por haberme brindando la información necesaria para realizar este diseño de investigación.
Mis amigos	Por haberme acompañado durante la carrera.
Mi asesor	Mtro. Ing. Carlos Alejandro Alegre Ordoñez, por haberme guiado durante el trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
3.1. Contexto general	7
3.2. Descripción del problema	7
3.3. Formulación del problema	8
3.4. Delimitación del problema	9
4. JUSTIFICACIÓN	11
5. OBJETIVOS	13
5.1. General.....	13
5.2. Específicos	13
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	15
7. MARCO TEÓRICO.....	17
7.1. Evolución del mantenimiento.....	17

7.2.	Tipos de mantenimiento	19
7.2.1.	Mantenimiento Correctivo.....	19
7.2.2.	Mantenimiento Preventivo	20
7.2.3.	Mantenimiento predictivo.....	21
7.2.4.	Análisis de fallos.....	22
7.2.5.	Mantenimiento productivo total TPM	22
7.2.6.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM ...	23
7.2.7.	Confiabilidad.....	24
7.2.8.	Disponibilidad	24
7.3.	Metodología del RCM.....	25
7.4.	Fases para implementar RCM	26
7.4.1.	Lista de equipos	26
7.4.2.	Definir la función de cada equipo	26
7.4.3.	Establecer los fallos funcionales y técnicos.....	26
7.4.3.1.	Fallo funcional	26
7.4.3.2.	Fallo técnico	27
7.4.4.	Determinar los modos de fallo.....	27
7.4.5.	Importancia de los fallos (criticidad)	27
7.4.6.	Definir y seleccionar medidas preventivas	27
7.4.7.	Ejecutar las medidas de mantenimiento.....	28
7.5.	Análisis de modo y efecto de falla (FMEA).....	28
7.6.	Análisis de criticidad (AC)	29
7.7.	Información general de la empresa.....	31
7.7.1.	Ubicación.....	32
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	33
9.	METODOLOGÍA	35
9.1.	Diseño	35

9.2.	Tipo de estudio	35
9.3.	Alcance.....	35
9.4.	Variables.....	36
9.5.	Operacionalización de Variables	36
9.6.	Fases de estudio	38
9.7.	Resultados Esperados.....	39
9.8.	Población y muestra	39
9.8.1.	Población	39
9.8.2.	Muestra.....	40
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	41
11.	CRONOGRAMA.....	43
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	45
13.	REFERENCIAS.....	47
14.	APÉNDICE	53

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de solución	16
2.	Estructura general del sistema de gestión de mantenimiento RCM.....	24
3.	Cronograma	43

TABLAS

I.	Generaciones del mantenimiento.....	19
II.	Análisis de modo y efecto de falla FMEA	29
III.	Análisis de criticidad.....	30
IV.	Operacionalización de variables	37
V.	Recursos para la investigación	45

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Km	Kilómetro
Psi	Libras por pulgada cuadrada
RCM	Mantenimiento basado en confiabilidad
ISO	Organización internacional de normalización
%	Porcentaje
pH	Potencial de hidrógeno
Q	Quetzales
q	Quintal
Tn	Tonelada

GLOSARIO

Auditoría	Evaluación sistemática para demostrar si las actividades y sus resultados relacionados cumplen con los métodos planificados y si estos métodos se implementan eficazmente y son apropiados para lograr los objetivos.
Agua residual	Agua con impurezas procedente de vertidos de diferentes orígenes, domésticos e industriales.
Azasgua	Asociación de Azucareros de Guatemala.
Bomba	Máquina que se usa para extraer, elevar o impulsar líquidos y gases de un lugar a otro.
Caldera	Máquina cuya principal función es generar grandes cantidades de vapor de agua.
Cogeneración	Procedimiento mediante el cual se obtiene simultáneamente energía eléctrica y energía térmica útil.
Criticidad	Nivel de impacto e importancia que tiene una máquina, equipo o dispositivo en los procesos de una organización.

Diagnóstico	Análisis que se realiza para determinar cualquier situación y determinar las tendencias.
Disponibilidad	Porcentaje de tiempo en que un equipo se encuentra apto y operativo.
Falla	Evento inesperado que implica el mal funcionamiento o el cese en las funciones de los equipos.
Falla funcional	Incapacidad de un elemento para cumplir con un estándar de rendimiento específico.
Mantenimiento	Conjunto de acciones que tienen como objetivo mantener un artículo o restaurarlo a un estado de correcto funcionamiento.
Metodología	Grupo de mecanismos o procedimientos racionales, empleados para el logro de un objetivo.
Planta de tratamiento	Conjunto de reservorios y estructuras a donde fluyen las aguas residuales para su tratamiento.
Reductor	Sistema de engranajes que permite que un motor eléctrico funcione a diferentes velocidades para los que fueron diseñados.
Restauración	Recuperar, recobrar o renovar una cosa en aquel estado o estimación que antes tenía.

Rutina

Conjunto de actividades de conservación que una empresa realiza a sus activos (ya sea diaria, semanal, mensual o anualmente) para garantizar su buen funcionamiento.

Zafra

Recolección de la caña de azúcar y la temporada en que se realiza

RESUMEN

El papel que ha ido tomando el mantenimiento dentro de la industria desde sus inicios es el de aportar mejoras en todas las actividades y cabe destacar que su fin es prolongar o restablecer la vida útil de un equipo y sus elementos. El mantenimiento basado en confiabilidad RCM permite establecer parámetros que pueden ayudar a definir las acciones de mantenimiento a realizar según el equipo y su importancia, así como minimizar los paros no programados o la poca disponibilidad de los activos, permitiendo también establecer el impacto económico para la empresa, claro esto se logra con un estricto seguimiento y apegándose a un plan de mantenimiento bien establecido.

El presente trabajo de investigación busca diseñar un plan de mantenimiento basado en confiabilidad RCM usando los historiales de fallos, la criticidad de los equipos e información que se irá obteniendo a través de la observación, con la información adquirida se podrá realizar un análisis técnico y una proyección financiera para determinar si es factible y el porcentaje de disponibilidad que se logra en los equipos.

1. INTRODUCCIÓN

El presente diseño de investigación constituye una sistematización para la creación de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad RCM para bombas y reductores de la planta de tratamiento de aguas residuales.

El mantenimiento con el paso de los años ha ido evolucionando, al igual que lo han hecho las instalaciones o equipos teniendo diseños más sofisticados y complejos. El mantenimiento basado en confiabilidad RCM permite a través de los historiales de fallas de los equipos determinar, las actividades de mantenimiento que mejor se ajusten para tener alta disponibilidad de los activos físicos y así contribuir en reducir paros no programados o fallos inesperados (Cruz,2018).

La falla funcional, el modo de falla, el efecto de la falla, consecuencias de la falla, forman parte del mantenimiento de confiabilidad y ayudan a entender como se ve afectado el equipo y el proceso, permitiendo definir la gestión de mantenimiento que se aplicará al activo físico según sea su caso (Soto, 2018). El análisis de criticidad ayuda a dar una jerarquía a cada equipo según sea el papel que desempeñe en un proceso dentro de una industria y con ello establecer un vínculo para las actividades de mantenimiento que atenderán al equipo según sea el fallo (Rubiano, 2018).

El problema que afecta al área de la planta de tratamiento de aguas residuales de cogeneración es la demanda de agua de reusó ra el lavado de caña y de gases y la disponibilidad que deben tener las bombas y reductores para

suplir la cantidad del recurso que es necesario en estos procesos para evitar contaminar el ambiente, que no se incrementen las rutinas de limpieza y no exista exceso de ceniza en las calderas.

Para la solución describir los lineamientos para la creación del mantenimiento basado en confiabilidad RCM para bombas y reductores constituye el primer paso, los historiales de fallos de los equipos contribuirán para poder definir las acciones de mantenimiento a gestionarse según sea contemplada su importancia dentro del proceso a ser evaluado.

Capítulo uno, contiene el marco teórico, que expone teoría relacionada con el mantenimiento y la correlación que tiene con el trabajo de investigación.

Capítulo dos, se desarrolla la creación del plan de mantenimiento para bombas y reductores de la planta de tratamiento de aguas residuales. Aquí se categoriza cada equipo, se establecen actividades de mantenimiento en cada uno.

Capítulo tres, se presentan los resultados donde se realiza un diagnóstico del área y las estrategias que pueden utilizarse.

Capítulo cuatro, se presenta la discusión de resultados y el aporte que realiza la investigación.

2. ANTECEDENTES

Achahuanco (2020), determina en su investigación, establecer medidas de mantenimiento con el fin de que los bienes o activos prevelezcan, permitiéndoles extender la vida útil para la que fueron diseñados. Así mismo el aporte de la investigación con el trabajo propuesto, debe existir una clasificación que dé a conocer los equipos que son críticos, importantes y no críticos con el fin de que al momento que dé fallo y también contar con los repuestos necesarios cuando sean requeridos, con ello se reducirá el tiempo de paros no programados. En los resultados de la investigación, determina el equipo con mayor criticidad, enfocándose en aumentar su disponibilidad.

Monje y Yrazábal (2019), determinan que la importancia de integrar distintas estrategias o actividades de mantenimiento, dan a paso a concretar los objetivos que debe cumplir el mantenimiento basado en confiabilidad, que es la conservación de los activos o equipos así también como la disponibilidad de ellos con bajo costo y minimizando las contingencias. En los resultados de la investigación, se revela que instituyendo adecuadamente el mantenimiento, se obtiene una correcta disposición de los activos físicos.

Varela (2018) cuando existe un mantenimiento basado en confiabilidad que permite tener equipos disponibles operando la mayor parte del tiempo se genera un vínculo fuerte que ayuda a establecer con diligencia las acciones a realizar para cada elemento que conforme un equipo, tomando en cuenta su condición bajo la evaluación de un criterio. El aporte de la investigación con el trabajo propuesto es la consideración de los criterios de la metodología RCM al

tomar en cuenta las pérdidas económicas que se generan o los riesgos latentes cuando un equipo sufre alguna falla. En los resultados de la investigación, indica mejora en el índice de fallos y disponibilidad de los sistemas de operación.

Soto (2018), en su trabajo de investigación manifiesta que por medio del mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) se identifican las actividades de mantenimiento a desarrollar o implementar según la criticidad o importancia de los equipos. El aporte de la investigación con el trabajo propuesto es la aplicación del análisis de modo y efecto de falla para los subsistemas de lubricación, refrigeración, combustible y turbo cargadores. En los resultados de la investigación, se denota el plan de mantenimiento realizado a partir del análisis realizado a cada subsistema, así como la frecuencia con que se realizan las actividades de mantenimiento asignado a cada uno.

Paredes (2018), determina en su trabajo de investigación, el análisis AMEF (análisis modo efecto de falla) permite identificar los principales modos de falla y así determinar y clasificar los activos críticos y no críticos. El aporte de la investigación con el trabajo propuesto, es la identificación de todos los eventos que lleguen a producir fallo en un equipo para trasladarlos al análisis AMEF y así definir las actividades de mantenimiento que ayudarán a evitar o reducir los fallos.

En los resultados de la investigación, denota que los indicadores de disponibilidad, MTBF, y MTTR reflejan satisfactoriamente reducción en la repetitividad de fallas y al establecer el RCM, también se obtiene reducción de costos de hasta un 75 %.

Maya (2018), en su investigación denota las fases a contemplar, para implementar el mantenimiento basado en fiabilidad RCM. El aporte de la investigación con el trabajo propuesto es el uso de la herramienta informática

Excel para determinar la confiabilidad y el FMEA. En los resultados de la investigación, denota que cuando existe una evaluación exhaustiva, es posible conocer las necesidades correctas para aplicar el mantenimiento que corresponda a cada elemento o equipo y así evitar paros no programados, también evidencia que se puede anticipar el fallo a tiempo y obtener la curva de duración operativa de un equipo aplicando el análisis *Weibull*.

Quiroz (2018), en su investigación, expone el cálculo de criticidad, simulación de tiempos de falla de equipos a ser considerados dentro de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad. El aporte de la investigación con el trabajo propuesto es plantear en tres fases el desarrollo del mantenimiento RCM, iniciando con la valoración de los equipos, identificando fallas y efectos, y por último la estructuración del plan de mantenimiento. En los resultados de la investigación, aplicando un árbol lógico de decisión, se logra determinar causas superficiales y profundas de falla para un equipo.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Contexto general

El problema se origina en la planta de tratamiento de aguas residuales del departamento de cogeneración de un ingenio azucarero, ubicado en Retalhuleu; su eficiencia de operación de 2018 a 2021 ha ido reduciendo. Al tener paradas continuas en esta área, el agua de reúso que se suministra hacia los procesos de lavado de caña no es suficiente y la materia prima arrastra más suciedad, provocando más acumulación de ceniza en el hogar de las calderas e incrementando las rutinas de limpieza en las calderas. Para el proceso de lavado de gases al no suplir la cantidad de agua de reúso requerida, los gases y combustión de la caldera emitidos hacia el exterior, generan contaminación en el ambiente.

3.2. Descripción del problema

Una de las razones importantes y por las que se lleva a cabo el diseño de mantenimiento basado en fiabilidad, son las paradas continuas o tiempos muertos que llegan a presentar las bombas y reductores de la planta de tratamiento de aguas residuales, dejando de suministrar agua de reúso para los procesos de lavado de caña y de gases de las calderas y así cumplir con lo establecido por AZAGUA, ente que vela para que los ingenios sean más amigables con el ambiente y su entorno.

Se busca eliminar o reducir las deficiencias que existen en el plan de mantenimiento, tomando en cuenta consideraciones importantes, como pueden ser, equipos sometidos a normativas legales que regulan su mantenimiento, obligando a que se realicen en ellos determinadas actividades con una periodicidad establecida. Otra de las consideraciones a tomar en cuenta es, algunas de las actividades de mantenimiento que no pueden realizarse con el equipo habitual de mantenimiento (sea propio o contratado), pues se requiere de conocimientos y/o medios específicos que solo están en manos del fabricante, distribuidor o de un especialista en el equipo.

3.3. Formulación del problema

Esto lleva a plantear la pregunta principal de esta investigación:

Pregunta general

¿Cómo planificar un mantenimiento basado en fiabilidad RCM para bombas y reductores de la planta de tratamiento de aguas residuales del departamento de cogeneración de un ingenio azucarero ubicado en el departamento de Retalhuleu? Para brindar respuesta a esta pregunta, se deberán contestar las siguientes interrogantes auxiliares:

Preguntas auxiliares

- ¿Cuáles son las rutinas de mantenimiento de bombas y reductores que se utilizan en la planta de tratamiento de aguas residuales del área de cogeneración del ingenio a la fecha de investigación?

- ¿Cuál es la metodología para identificar las fallas funcionales y las fallas técnicas en bombas y reductores de la planta de tratamiento de aguas residuales del área de cogeneración de un ingenio azucarero?
- ¿Qué medidas permiten evitar el fallo o minimizar sus efectos en bombas y reductores de la planta de tratamiento de aguas residuales del área de cogeneración de un ingenio azucarero con el modelo de mantenimiento basado en Confiabilidad RCM?

3.4. Delimitación del problema

El trabajo de investigación se realizará en la planta de tratamiento de aguas residuales del departamento de cogeneración de un ingenio azucarero ubicado en Retalhuleu.

4. JUSTIFICACIÓN

El trabajo de investigación es el diseño de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad RCM para bombas y reductores de la planta de tratamiento de aguas residuales del departamento de cogeneración, se relaciona con la línea de investigación del área de gestión en la disponibilidad y criticidad de la Maestría en Ingeniería de Mantenimiento de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

La necesidad surge de contribuir en el área de mantenimiento, para que haya una mejor programación, planificación, asignación de las actividades o acciones a realizar dentro de un proceso y los activos físicos que conforman el área de estudio.

La importancia se traslada a la conservación de los equipos o que sean restaurados a las condiciones iniciales de trabajo, ligado el impacto económico, debido a que no siempre se ve involucrado un solo elemento sino varios que requieren ser reparados o en su defecto sustituidos por completo.

La motivación es que exista una metodología que establezca los lineamientos a considerar en las actividades de mantenimiento que contempla cada activo físico en evaluación.

El beneficio del estudio consiste en crear un plan de mantenimiento basado en confiabilidad RCM, que permita generar la metodología para las bombas y reductores de la planta de tratamiento de aguas residuales e identificar

las actividades de mantenimiento que son aplicables según el fallo y el activo físico. Este mismo beneficiará al ingenio para proyectar y considerar si es factible en otras áreas o equipos dentro de los procesos que lo conforman, como para otras empresas o población en general, que requieran información en el diseño de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad RCM.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Diseñar un plan de mantenimiento basado en confiabilidad RCM para bombas y reductores de la planta de tratamiento de aguas residuales del departamento de cogeneración de un ingenio azucarero ubicado en el departamento de Retalhuleu.

5.2. Específicos

- Determinar las rutinas de mantenimiento de bombas y reductores que se utilizan en la planta de tratamiento de aguas residuales del área de cogeneración del ingenio a la fecha de investigación.
- Definir la metodología para identificar las fallas funcionales y las fallas técnicas en bombas y reductores de la planta de tratamiento de aguas residuales del área de cogeneración de un ingenio azucarero.
- Establecer las medidas para prevención del fallo y minimización de efectos en bombas y reductores de la planta de tratamiento de aguas residuales del área de cogeneración de un ingenio azucarero con el modelo de mantenimiento basado en confiabilidad RCM.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

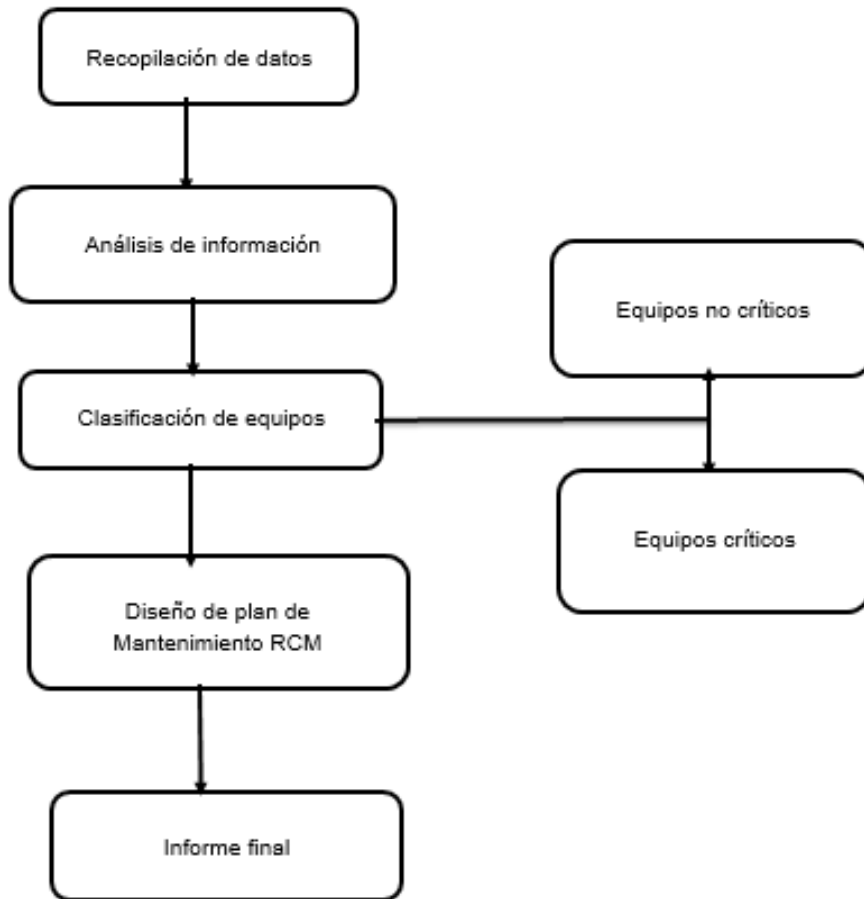
El diseño de mantenimiento basado en confiabilidad RCM busca cubrir la primordial necesidad de mantener las bombas y reductores de la planta de tratamiento de aguas residuales con una disponibilidad arriba del 90 % permitiendo cumplir con la demanda de agua de reúso establecida para el proceso.

El estudio de investigación busca diseñar los procedimientos o metodologías de mantenimiento establecidos para el área de la planta de tratamiento de aguas residuales a través de un mantenimiento basado en fiabilidad.

En la primera fase se busca recopilar y analizar la información que permita establecer el estado actual de los equipos en estudio; en la segunda fase se expondrá la clasificación de los equipos y en la tercera fase se procederá con el diseño de mantenimiento.

Al diseñar el plan de mantenimiento basado en RCM, se estará mejorando la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, permitirá detectar con anticipación el fallo de un equipo y analizar las técnicas o medidas aplicables para reducir o anular las causas.

Figura 1. **Esquema de solución**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Evolución del mantenimiento

Garrido (2010), da a conocer que el mantenimiento es la aplicación de los diferentes métodos que permiten preservar y/o prolongar la vida útil de un equipo y con ello conseguir alta disponibilidad y óptimo rendimiento. La aplicación de estas actividades de mantenimiento viene ligada con el tema financiero porque también se busca que su impacto no sea elevado y acá la importancia de indagar a profundidad lo que está provocando la falla, para tener el conocimiento del método a ser aplicado y evitar que sea repetitivo el fallo.

Desde sus inicios hasta el presente, en la industria, el mantenimiento ha tenido un papel importante y ha ido evolucionando en las diferentes técnicas que permiten atender los distintos fallos que puedan presentar los equipos, desde servicios correctivos hasta la actualidad, que existen equipos o tecnologías que hacen los procedimientos menos invasivos para diagnosticar fácil y rápido la raíz del problema o fallo.

Algunos autores describen que la primera generación de mantenimiento data de finales del siglo XIX y acá los operadores se encargaban de atender los fallos que pudieran presentar los equipos, porque eran los que conocían su funcionamiento.

La llegada de la Segunda Guerra Mundial abrió paso a la segunda generación de mantenimiento, con proyección de tener una mayor productividad viene ligado a que exista una alta disponibilidad de los equipos y se reduzcan los fallos, para ello se buscan soluciones y es donde se desarrollan actividades preventivas que más tarde se convierte en un sistema funcional para la industria, llamado *mantenimiento preventivo*.

La tercera generación de mantenimiento al hacerse presente trae consigo nuevos métodos o técnicas, complementándose una con otra. En esta tercera etapa se da a conocer el *mantenimiento predictivo*, el RCM, el TPM, el uso de computadora para generar órdenes de trabajo y llevar un mejor control en los costos y rutinas de mantenimiento, mantenimiento por condición. La necesidad de reducir los tiempos en los equipos, en esta tercera se vio incrementada.

En la década de los años noventa, las técnicas de mantenimiento se enfocan en resultados de eficiencia y eficacia, dando paso a la cuarta generación del mantenimiento. La quinta generación del mantenimiento dentro de la industria se enfoca en reducir costos, sin descuidar la calidad de operación, efectividad y disponibilidad de los equipos.

Tabla I. **Generaciones del mantenimiento**

Generación	Época en que aparece	Principales fundamentos
Primera Generación	Desde el inicio de la revolución industrial	Mantenimiento correctivo puro
Segunda Generación	A partir de la Segunda Guerra Mundial	Mantenimiento preventivo sistemático
Tercera Generación	Década de los 80	Mantenimiento predictivo o por condición Análisis de fallos RCM TPM
Cuarta Generación	Década de los 90	<i>World Class</i> Management y la eficacia en la gestión
Quinta Generación	Siglo XXI	Terotecnología. Visión técnico económica de los activos y del coste del ciclo de vida

Fuente: García (2010)

7.2. Tipos de mantenimiento

Se dividen en correctivo, preventivo, predictivo, clase mundial y basado en confiabilidad.

7.2.1. Mantenimiento correctivo

Mantenimiento llevado a cabo después de la detección de una falla, hasta completar la restauración (International *Organization for Standardization*, 2016). Con este aporte, se puede decir que la finalidad del mantenimiento correctivo es

atender de manera eficaz la falla que ha presentado inesperadamente o por un factor desconocido un equipo.

Garrido (2003) y Molina, Sandoval y Tenorio (2019), concuerdan que el mantenimiento correctivo es el conjunto de actividades que permiten atender y resolver las fallas que puede presentar un equipo al estar en operación y así lograr nuevamente la disponibilidad de este.

Los fallos siempre son inherentes a los equipos que tengamos en operación en un proceso y el mantenimiento correctivo permite asistir al sitio con las actividades pertinentes y que se ajustan a la clase de equipo que presente el fallo. El mantenimiento correctivo no garantiza que una vez resuelto el fallo que pueda presentar un equipo este no se repetirá, si bien permite restablecer la funcionalidad del activo.

7.2.2. Mantenimiento preventivo

El aporte de Molina, Sandoval y Torino (2019), todas las actividades se planifican o programan con antelación al fallo y con ello se logra mantener a los equipos con disponibilidad evitando que haya paradas inesperadas.

Garrido (2003), da a conocer que planificando y ejecutando las actividades correctivas a tiempo, se logra reducir riesgos que podrían afectar a los equipos en operación. Tomar en cuenta los puntos recurrentes de fallo y no efectuar la sustitución de elementos que se encuentren en buen estado, ayuda a cumplir con el tiempo establecido de mantenimiento y evita que se tengan gastos no contemplados (Molina, Sandoval y Tenorio, 2019).

Planificar las actividades de mantenimiento preventivo para efectuarlas acorde a una proyección mensual, trimestral, semestral o según el periodo que se haya asignado para cada equipo, en un inicio puede representar o tener un costo elevado, sin embargo, brinda mayor tranquilidad si se le compara con el mantenimiento correctivo (Acevedo, 2018).

Los aportes brindados en los párrafos anteriores dan claridad del alcance que pretende lograrse, al tener estructurado adecuadamente todas las actividades de prevención que se estipulan para cada equipo.

7.2.3. Mantenimiento predictivo

Las condiciones con que un equipo trabaja generan variables que a menudo permiten realizar diagnósticos previos al fallo, ayudando a contrarrestar que se generen tiempos perdidos debido a equipo no disponible, indisponibilidad de repuesto o que exista algún otro factor que retrase poner en marcha el equipo (Álvarez y Hurtado, 2021). Al no tener definidas acciones que ayuden a monitorear equipos constantemente, se da paso al incremento de paros no programados, fallos repetitivos y uso desmedido de repuestos que están unidos a gastos no contemplados.

Para Molina, Sandoval y Tenorio (2019), realizar intervenciones para llevar a cabo actividades de mantenimiento en los equipos o activos físicos, deriva del estudio o evaluación realizada a tiempo y evitando que el equipo presente fallo. La falla en algún elemento del equipo puede repercutir seriamente y agravar el panorama de reparación, por ello el seguimiento, los registros, los monitoreos, forman parte importante para no tener paros no programados o que el activo físico por daños genere pérdidas económicas.

Tener información, bitácoras o historial de fallos de los procesos o equipos permite al equipo de mantenimiento, planificar o programar las actividades de intervención, con el fin de evitar serios daños a los activos físicos (*International Organization for Standardization*, 2016). El evaluar correctamente si las actividades de mantenimiento aplicadas a un equipo que sufre de fallos repetitivos está ayudando adecuadamente y el impacto económico que puede llegar a tener, son factores que permiten determinar si el activo físico ha llegado a su vida útil o vale la pena seguir invirtiendo en su manutención.

7.2.4. Análisis de fallos

Un equipo o activo físico que no cumpla con la función para la que fue diseñado, es un indicio que ha habido un daño a uno o varios de sus elementos y que necesita ser revisado (Varela, 2018). Las inspecciones periódicas, los monitoreos, así como las acciones de mantenimiento permiten determinar el origen de la falla y evaluar las condiciones de trabajo, examinar detenidamente los procedimientos que se implementarán para que la probabilidad de ocurrencia sea mitigada o reducida, contribuyendo a que el impacto económico no sea elevado.

7.2.5. Mantenimiento productivo total TPM

“Gestión de mantenimiento basado en la implicación del personal de producción en el mantenimiento de los equipos” (García, 2003, p. 187).

“Se enfoca en la eliminación de pérdidas asociadas con paros, para mejorar la calidad y costes en los procesos de producción industrial” (Maya, 2018, p. 10).

“Es el sistema en que el propio usuario realiza pequeñas tareas de mantenimiento” (Molina, Sandoval y Tenorio, 2019, p. 14).

7.2.6. Mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM

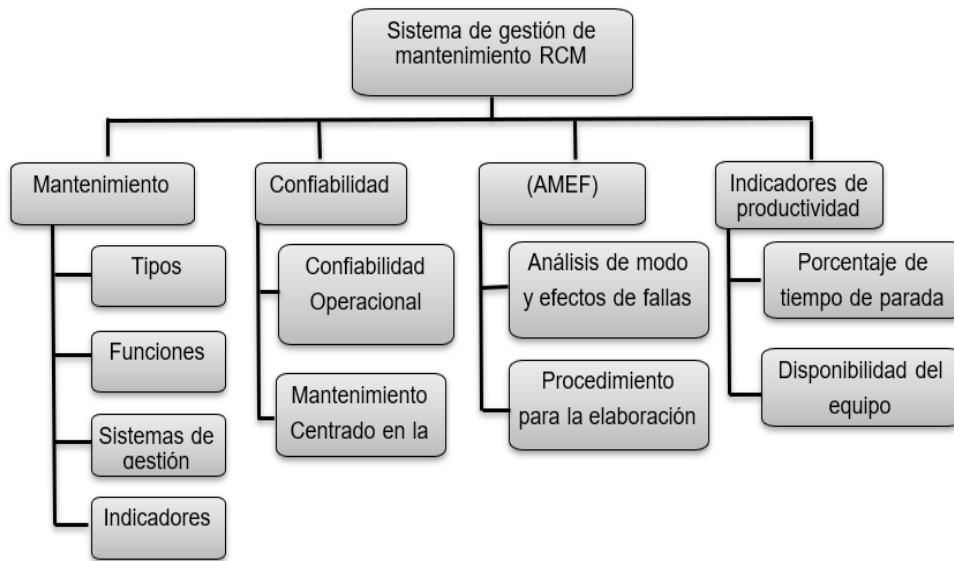
“Es una metodología para elaborar un plan de mantenimiento en una instalación industrial y presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas” (Maya, 2018, p. 21).

Cruz (2018), establece que es una herramienta que permite la alta disponibilidad de los equipos de un proceso, integrando distintas técnicas acordes al tipo de fallo presentado.

Acevedo (2018), da a conocer que es un sistema de gestión de mantenimiento que establece las actividades que se adaptan adecuadamente a cada equipo, según el fallo que se presente.

El Mantenimiento basado en RCM es una técnica que define las actividades que se emplearán para mermar fallas que pueda presentar determinado equipo y esto se logra integrando la información recopilada, de los fallos que son recurrentes y así alcanzar su propósito de una alta disponibilidad, evitando tener un impacto fuerte de costo.

Figura 2. **Estructura general del sistema de gestión de mantenimiento RCM**



Fuente: Revista científica ingeniar (2021, p. 6).

7.2.7. Confiabilidad

“La confiabilidad es la probabilidad de que un componente o sistema pueda cumplir su función sin fallar en las condiciones operativas especificadas durante un intervalo de tiempo dado” (Maya, 2018, p. 9).

7.2.8. Disponibilidad

“Es la probabilidad de que un componente o sistema pueda cumplir su función en las condiciones operativas especificadas en un instante de tiempo dado” (Maya, 2018, p. 10).

“Es la capacidad de un activo o componente para realizar una función requerida bajo condiciones dadas en un instante dado de tiempo o durante un determinado intervalo de tiempo” (Diestra, Esquivel y Guevara, 2017, p. 3).
Revista científica

Disponibilidad = (Horas totales -horas parada por mantenimiento) / (Horas totales)

7.3. Metodología del RCM

“Para que un proceso sea reconocido como RCM debe seguir los siete pasos en el orden que se muestra a continuación” (SAE JA1011, 2009).

Delimitar el contexto operativo, las funciones y los estándares de desempeño deseados asociados al activo (contexto operacional y funciones).

Determinar cómo un activo puede fallar en el cumplimiento de sus funciones (fallas funcionales).

- Definir las causas de cada falla funcional (modos de falla).
- Describir qué sucede cuando ocurre cada falla (efectos de falla).
- Clasificar los efectos de las fallas (consecuencias de la falla).
- Determinar qué se debe realizar para predecir o prevenir cada falla (tareas e intervalos de tareas).

Decidir si otras estrategias de gestión de fallas pueden ser más efectivas (cambios de una sola vez) (SAE JA1011, 2009).

7.4. Fases para implementar RCM

De la siguiente forma se desglosa los pasos a seguir para un mantenimiento basado en confiabilidad.

7.4.1. Lista de equipos

Es el paso inicial para conocer en su totalidad, la cantidad de equipos involucrados en un área o proceso.

7.4.2. Definir la función de cada equipo

En esta etapa se da a conocer la labor que desempeña cada equipo, funciones primarias o secundarias en las que pueda estar involucrado en el proceso.

7.4.3. Establecer los fallos funcionales y técnicos

Para establecer las actividades de mantenimiento que se deben aplicar a un equipo específico, es necesario conocer o identificar las fallas que pueden ocurrir.

7.4.3.1. Fallo funcional

“Es el fallo que impide al equipo o al sistema analizado cumplir su función”
(Garrido, 2003, p.39).

7.4.3.2. Fallo técnico

“Es el fallo que no impidiendo al equipo que cumpla su función, supone un funcionamiento anormal” (Garrido, 2003, p.39).

7.4.4. Determinar los modos de fallo

Es necesario conocer todos los eventos que puedan ocasionar fallas en el equipo que se encuentre en estudio, desde los causados por actos humanos y considerar los que no han ocurrido, pero con probabilidad de acontecer.

7.4.5. Importancia de los fallos (criticidad)

En esta fase es importante determinar el efecto que tendrá la falla sobre el equipo, cómo afecta al proceso y el costo en que incurre, para regresarlo a su estado de operación. Aquí se define la criticidad que tendrá el equipo, se puede analizar si es una falla técnica o funcional, así como darle una categoría o rango a cada equipo.

7.4.6. Definir y seleccionar medidas preventivas

Se establecen las rutinas o tareas de mantenimiento que se ejecutarán según el equipo que haya presentado el fallo y con el apoyo del grado de importancia.

7.4.7. Ejecutar las medidas de mantenimiento

En esta etapa, no solo se ejecutan las actividades de mantenimiento definidas para cada equipo, sino que se realizan mejoras o actualizaciones a las ya establecidas, con el fin de reducir los fallos en los equipos.

7.5. Análisis de modo y efecto de falla (FMEA)

“Es un método sistemático que permite identificar los posibles modos de fallos en función a su contexto operacional” (Molina, Sandoval y Tenorio, 2019, p. 18.).

Tabla II. **Análisis de modo y efecto de falla FMEA**

F	FF	MF	Modo de falla (causa de falla)
1	1	1	Pulsador de inicio con contacto malo
		2	Motor sin potencia eléctrica
		3	Línea suelta en pulsador
		4	PLC en falla
		5	Puente rectificador malo
		6	Motorreductor desacoplado totalmente del sistema de transmisión
		7	Motor se queda en dos fases
		8	Pega mecánica entre piñones de transmisión
	2	1	Pulsador de inicio con contacto sulfatado
		2	PLC en falla
		3	Motorreductor acoplado parcialmente con el sistema de transmisión
	3	1	PLC en falla
		2	Línea floja en contactor
		3	Activación de seguridades del equipo
		4	Puente rectificador malo
		5	Motor se queda en dos fases
		6	Térmico disparo por sobrecorriente
2	1	1	Desgaste y/o deformación en las cabezas de los tornillos
		2	Diseño inadecuado del equipo

Fuente: elaboración propia.

7.6. Análisis de criticidad (AC)

“Es una metodología que tiene como resultado la jerarquización de los sistemas y equipos” (Molina, Sandoval y Tenorio, 2019, p. 39).

Tabla III. **Análisis de criticidad**

Tipo de Equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento
A crítico	Puede originar accidente muy grave		Es clave para la calidad del producto	Alto coste de reparación en caso de avería
	Necesita revisiones periódicas frecuentes (mensuales)	Su parada afecta al plan de producción		Averías muy frecuentes
	Ha producido accidentes en el pasado		Es e causante de un alto porcentaje de rechazo	Consume una parte importante de los recursos de mantenimiento (mano de obra y/o materiales)
B importante	Necesita revisiones periódicas (anuales)	Afecta a la producción, pero es recuperable (no llega a afectar a clientes o al plan de producción)	Afecta a la calidad, pero habitualmente no es problemático	Coste medio en Mantenimiento
	Puede ocasionar un accidente grave, pero las posibilidades son remotas			
C prescindible	Poca influencia en seguridad	Poca influencia en producción	No afecta a la calidad	Bajo coste de Mantenimiento

Fuente: elaboración propia.

7.7. Información general de la empresa

El ingenio fue establecido en el año de 1914, por el señor Antonio Bouscayrol, iniciando con el uso de trapiches de caña para la fabricación de panela y posteriormente mieles para la producción de ron.

Los primeros registros apuntan que, en el año de 1956, la producción fue de 55 quintales de azúcar; la producción usaba un método pesado y básico; la caña era transportada en carretones tirados a su vez por bueyes, en esos años no contaban con equipos para realizar la carga y descarga de la caña y la capacidad de molienda era relativamente baja.

Desde hace 20 años la molienda de caña se ha incrementado, teniendo como referencia la zafra 2021-2022, llegando a moler una cantidad de 7,000 toneladas de caña por día. Otra área que ha evolucionado es la de cogeneración, que en el año 2003 operaba con calderas de 250 Psi; actualmente se encuentran fuera de servicio y trabajan con una caldera de 850 Psi y otra de 900 Psi, que producen vapor para la generación de energía eléctrica y fabricación de azúcar y mieles.

Como parte de la mejora continua en el año 2016, adquirieron una planta de tratamiento de aguas residuales, que permite recuperar en un 80 % el agua que se usa en los procesos internos de lavado de caña y de gases. Todos estos cambios y mejoras realizadas dentro del ingenio azucarero, le han permitido posicionarse como uno de los más eficientes de Guatemala.

7.7.1. Ubicación

El ingenio azucarero se encuentra situado en el Km. 4.5 carretera al municipio San José La Máquina, en el municipio de San Andrés Villa Seca, departamento de Retalhuleu.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTAS ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO REFERENCIAL

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Evolución del mantenimiento

2.2. Tipos de mantenimiento

2.2.1. Mantenimiento correctivo

2.2.2. Mantenimiento preventivo

2.2.3. Mantenimiento predictivo

2.2.4. Análisis de fallos

2.2.5. Mantenimiento productivo total

2.2.6. Mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM

2.2.7. Confiabilidad

2.2.8. Disponibilidad

2.3. Metodología RCM

2.4. Fases para implementar RCM

- 2.4.1. Lista de equipos
- 2.4.2. Definir la función de cada equipo
- 2.4.3. Establecer los fallos funcionales y técnicos
 - 2.4.3.1. Fallo funcional
 - 2.4.3.2. Fallo técnico
- 2.4.4. Determinar los modos de fallos
- 2.4.5. Importancia de los fallos (criticidad)
- 2.4.6. Definir y seleccionar medidas preventivas
- 2.4.7. Ejecutar las medidas de mantenimiento
- 2.5. Análisis de modo y efecto de falla (FMEA)
- 2.6. Análisis de Criticidad (AC)

- 3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN
- 4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
- 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICE Y ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Diseño

El presente diseño de investigación es no experimental, porque no se utilizará ensayo de laboratorio para establecer la información que permite desarrollar el estudio presentado y no habrá manipulación de variables en laboratorio. Se utilizarán herramientas de medición que permitirán realizar el diseño del plan de mantenimiento basado en confiabilidad RCM. Finalmente es transversa, porque el estudio de investigación está delimitado en tiempo, se cuenta con una fecha de inicio y fin del proyecto.

9.2. Tipo de estudio

El tipo de estudio es cuantitativo, porque permitirá observar la frecuencia con que se presenta el fallo, analizar causa y efecto de un fallo en un equipo, el porcentaje de disponibilidad y confiabilidad de un equipo.

9.3. Alcance

El alcance de la investigación es de tipo descriptivo, debido a que se describe la metodología para crear un plan de mantenimiento basado en confiabilidad RCM.

9.4. Variables

Las variables que se utilizarán en la presente investigación se muestran en el cuadro de variables clasificadas en cada uno de los objetivos y definiendo el indicador que tiene asignado.

Dependientes:

- Fallas funcionales
- Fallos técnicos
- Confiabilidad
- Disponibilidad

9.5. Operacionalización de Variables

La operacionalización de variables es un proceso que se presenta solamente en el enfoque cuantitativo, debido a que las variables deben ser susceptibles a ser observadas y medidas.

Tabla IV. Operacionalización de variables

Objetivo	Nombre de la Variable	Tipo de Variable	Indicador	Instrumento o Técnica
Determinar las rutinas de mantenimiento de bombas y reductores que se utilizan en la planta de tratamiento de aguas residuales del área de cogeneración del ingenio a la fecha de investigación.	Procedimientos para establecer rutinas de mantenimiento a bombas y reductores basado en confiabilidad RCM.	Cuantitativa	Tiempo medio para reparación MTTR Costo de mantenimiento o sobre valor de reposición CPMV	Análisis de modo y efecto de falla.
Definir la metodología para identificar las fallas funcionales y las fallas técnicas en bombas y reductores de la planta de tratamiento de aguas residuales del área de cogeneración de un ingenio azucarero.	Metodología para identificar las fallas funcionales y las fallas técnicas	Cuantitativa	Tiempo medio entre fallas MTBF	Matriz de Criticidad. Análisis de modo y efecto de falla.
Establecer las medidas para prevención del fallo y minimización de efectos en bombas y reductores de la planta de tratamiento de aguas residuales del área de cogeneración de un ingenio azucarero con el modelo de mantenimiento basado en confiabilidad RCM.	Medidas para prevención del fallo y minimización de efectos en bombas y reductores con el modelo de mantenimiento basado en confiabilidad RCM.	Cuantitativa	Disponibilidad Confiabilidad	Tabla de recolección de datos.

Fuente: elaboración propia.

9.6. Fases de estudio

- Fase 1

Corresponde a la revisión documental y es la literatura que se ha seleccionado para brindar respaldo al contenido de investigación en los antecedentes y marco teórico con experiencias previas del tema de mantenimiento basado en confiabilidad RCM.

Se utilizará información de revistas científicas, trabajos de maestría, libros, revistas, entre otros.

- Fase 2

En esta fase se lleva a cabo la recolección de información y se hará uso del sistema SAP para tener historial de los fallos, seguido se realizará la separación por equipo para identificar las acciones de mantenimiento realizadas en bombas y reductores.

- Fase 3

Con la información del historial de las actividades de mantenimiento aplicadas a bombas y reductores del área de planta de tratamiento de aguas residuales en un periodo de zafra se establecerá si las causas de los fallos han sido funcionales o técnicas. Se podrá verificar si los procedimientos de mantenimiento son la causa si un fallo es repetitivo o no ha sido asistidos correctamente, por falta de repuesto o presupuesto o algún otro factor a ser considerado.

- Fase 4

En esta fase con los resultados obtenidos de la fase 3, se podrá establecer la guía de mantenimiento que mejor incorpore todas las actividades que brinden una mejor disponibilidad y la confianza de que las probabilidades de fallo de un equipo sean menores al 10 %.

9.7. Resultados esperados

Al final del estudio se obtendrá el diseño de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad, que permitirá a la empresa determinar su viabilidad y que va dirigido al área de la planta de tratamiento de aguas residuales del departamento de cogeneración.

9.8. Población y muestra

Es un subconjunto o parte del universo o población en que se llevará a cabo la investigación. Hay procedimientos para obtener la cantidad de los componentes de la muestra como fórmulas, lógica y otros.

9.8.1. Población

La población está conformada por 11 bombas y 5 reductores de la planta de aguas residuales del departamento de cogeneración y esto hace un total de 16 equipos.

9.8.2. Muestra

Como se cuenta con una población de 16 equipos para la creación del plan de mantenimiento basado en confiabilidad se tomará el 100 % de los equipos.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

El análisis de la información permite conocer el estado actual del área o proceso hacia donde se enfoca la investigación y con ello determinar las herramientas o métodos que ayuden a representar un panorama más claro y así obtener respuesta o soluciones a los objetivos planteados.

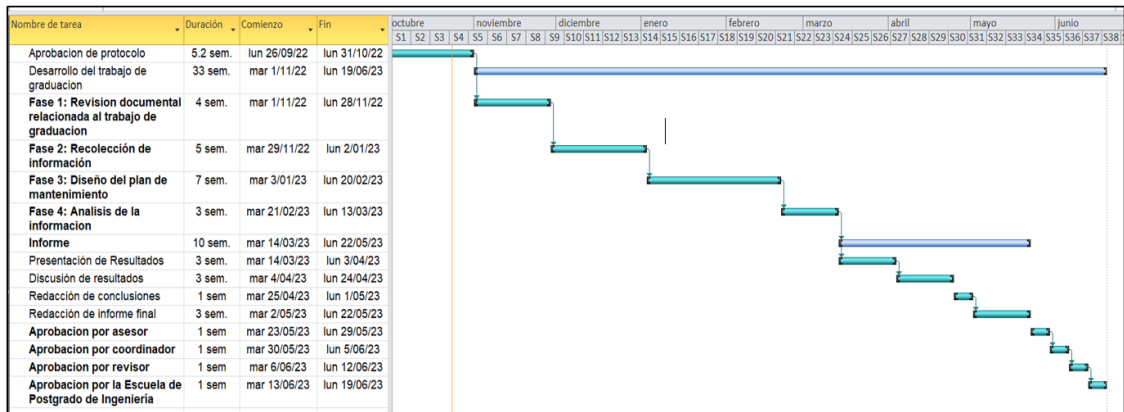
Partiendo de la fase 2 de este trabajo de investigación, con la recopilación de la información de historiales de falla, se procederá a establecer si las actividades de mantenimiento son acordes a los equipos en estudio, las órdenes de trabajo de periodos anteriores permitirán establecer por medio de gráficos de barras los elementos que han sido atendidos de cada equipo y con ello evaluar la recurrencia del problema.

De la fase 3 para definir si la causa del fallo fue funcional o técnica, se empleará el método de modo y efecto de falla, que permitirá establecer las actividades de mantenimiento que pueden aplicarse bombas y reductores de la planta de tratamiento de aguas residuales. El método de análisis de criticidad ayudará a determinar la importancia de cada bomba y reductor que se analizará en este trabajo de investigación.

De la fase 4, para establecer procedimientos adecuados que ayuden con la prevención y reducción de fallos, se utilizará toda la información recopilada de órdenes de trabajo, rutinas de mantenimiento, gráficos de barra, métodos de análisis de falla y criticidad

11. CRONOGRAMA

Figura 3. Cronograma



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Project.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El trabajo de investigación para la creación de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad RCM, se considera que es factible porque se cuentan con todos los recursos para su desarrollo y llevar a cabo cada una de las fases permitiendo cumplir con los objetivos propuestos. El 100 % de la inversión para el desarrollo del trabajo será cubierta por el investigador y a continuación se presenta el presupuesto para llevarlo a cabo.

Tabla V. **Recursos para la investigación**

No.	Recurso	Descripción del gasto	Monto	Porcentaje
1	Humano	Tiempo invertido del investigador	Q 4 000,00	35,24 %
2	Físico	Equipo de Cómputo	Q 4 500,00	39,65 %
3		Impresiones	Q 600,00	5,29 %
4		Internet	Q 1 000,00	8,81 %
5		Papelería y útiles	Q 500,00	4,41 %
6	Otros	Imprevistos	Q 750,00	6,61 %
Total			Q 11 350, 00	100, 00 %

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

13. REFERENCIAS

1. Acevedo, M. (2018). *Fundamentación y propuesta de cambios a la gestión del mantenimiento a la maquinaria agrícola en Cuba* (Tesis de maestría). Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Cuba. Recuperado de <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/10863/Tesis%20MsC%20ManuelAcevedoDarias2018%2c.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
2. Achahuanco, A. (2020). *Análisis del mantenimiento centrado en la confiabilidad – rcm – en la subestación San José, para la estabilidad del sistema interconectado nacional sein, en base a la confiabilidad de sus equipos* (Tesis de maestría). Universidad católica de Santa María, Perú. Recuperado de <https://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/UCSM/9925/L1.2045.MG.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
3. Álvarez, Y. y Hurtado, S. (2021). *Diseño de un plan de mantenimiento basado en RCM para el soporte del sistema eléctrico (Planta Eléctrica) de Falabella sede colina* (Tesis de especialización). Universidad ECCI, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/866/Dise%C3%B1o%20de%20un%20plan%20de%20mantenimiento%20basado%20en%20RCM%20para%20el%20soporte%20del%20sistema%20el%C3%A9ctrico%20%28Planta%20El%C3%A9ctrica%29%2>

0de%20Falabella%20sede%20colina%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y

4. BS EN ISO 14224. (2016). *Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural – recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos*. Reino Unido: CN Normas.
5. Campo, O., Tolentino, G., Toledo, M. y Tolentino, R. (junio, 2018). *Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos*. Científica, 23(1), 51-59. Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/html/>
6. Castro, M. (2017). *Método basado en RCM, para la gestión de mantenimiento de tractores agrícolas: Caso municipalidad distrital de colquepata (Tesis de maestría)*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/5336/IIMcairmg.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
7. Cruz, M. (2018). *Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad para la reducción de interrupciones de las redes de distribución (Tesis de maestría)*. Universidad andina Simón Bolívar, Bolivia. Recuperado de <http://repositorio.uasb.edu.bo/handle/54000/516>
8. Díaz, S. (2020). *Optimización del plan de mantenimiento e inventario de repuestos del área eléctrica de la central hidroeléctrica alazán, basado en el análisis de criticidad y mantenimiento centrado en confiabilidad (Tesis de maestría)*. Universidad del Azuay, Ecuador.

Recuperado de
<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/10534/1/16123.pdf>

9. Dutan, H. (2021). *Optimización del plan de mantenimiento e inventario de repuestos del área mecánica en la central hidroeléctrica Alazán, basado en el análisis de criticidad y mantenimiento centrado en confiabilidad* (Tesis de maestría). Universidad del Azuay, Ecuador.
Recuperado de
<http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/10547>
10. Fernández, E. (2018). *Gestión de mantenimiento: Lean maintenance y TPM* (Tesis de maestría). Universidad de Oviedo, España.
Recuperado de
<https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/47868/Gesti%F3n%20de%20Mantenimiento.%20Lean%20Maintenance%20y%20TPM.pdf;jsessionid=4F6DA31F57283ADD7478AE8BF7D8F79E?sequence=1>
11. Gandur, F. (2017). *Adaptación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en un sistema crítico de aire acondicionado de la Clínica Universitaria Bolivariana (CUB)* (Tesis de maestría). Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia.
Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.11912/3577>
12. García, S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos S.A.
13. García, S. (2010). *La contratación del mantenimiento industrial*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos S.A.

14. Maya, J. (2018). *Aplicación de RCM como estrategia de implementación del mantenimiento predictivo para la metodología TPM* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/64727>
15. Molina, G., Sandoval, E. y Tenorio, V. (2019). *Diseño e implementación de un sistema de gestión del mantenimiento en planta industrial de ingenio el ángel* (Tesis de maestría). Universidad Don Bosco, Colombia. Recuperado de <http://rd.udb.edu.sv:8080/jspui/bitstream/11715/1721/1/65969.pdf>
16. Monge, R. y Yrazábal, M. (2019). *Estrategias del rcm y su influencia en la confiabilidad de los equipos para la tintorería de la empresa sur color star s.a.* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional del Callao, Perú. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12952/4485>
17. Narváez, F. (2020). *Propuesta de un modelo de Gestión de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), de los activos críticos del Terminal Nuevo de Productos Limpios Cuenca de la EP Petroecuador* (Tesis de maestría). Universidad del Azuay, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/10482>
18. Paredes, P. (2018). *Implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (rcm), al shiploader de minerales del muelle "f", de la empresa terminal internacional del sur (terminal portuario de matarani)* (Tesis de maestría). Universidad católica de Santa María, Perú. Recuperado de <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/8075>

19. Pérez, E., Castiblanco, I. y Mateo, N. (Julio, 2020). *Diseño de una metodología para generar un plan de mantenimiento a través de la integración de RCM, WCM y Lean manufacturing aplicable en procesos de trefilado de alambión. Entre ciencia e ingeniería*, 14 (27), 82-90. Recuperado de <https://revistas.ucp.edu.co/index.php/entrecienciaeingenieria/articloe/view/1793>

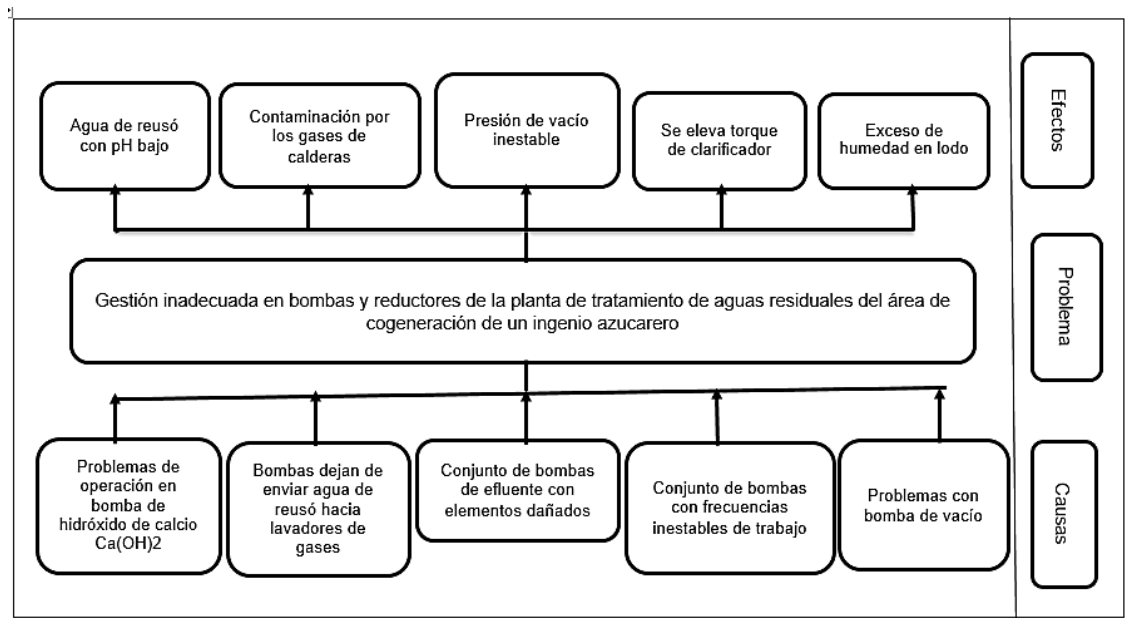
20. Quiroz, H. (2018). *Propuesta de un Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), en el Beneficio Húmedo de café Manuel Sedas Rincón de Huatusco Veracruz* (Tesis de maestría). Universidad Veracruzana, México. Recuperado de <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/1944/49403/QuirozVazquezHugo.pdf?sequence=1>

21. Rubiano, C. (2021). *Propuesta de un Modelo de mejora en los planes de Mantenimiento de los Activos Fijos Productivos de la Planta de Aseo de la empresa Casa Luker S.A* (Tesis de especialización). Universidad de ECCI, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/873/Propuesta%20de%20un%20Modelo%20de%20mejora%20en%20los%20planes%20de%20Mantenimiento%20de%20los%20Activos%20Fijos%20Productivos%20de%20la%20Planta%20de%20Aseo%20de%20la%20empresa%20Casa%20Luker%20S.A.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

22. Soto, M. (2018). *Propuesta de implantación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), de los activos críticos de la unidad nº1 de la central térmica el descanso* (Tesis de maestría). Universidad del Azuay, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/8378>
23. Tejaxún, C. (2019). *Desarrollo de un modelo de gestión de mantenimiento a través del monitoreo de condición, utilizando ensayos no destructivos, bajo la norma ISO 17359:2011 para la conservación de equipos críticos, en la industria avícola* (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/12162/1/C%C3%A9sar%20Agosto%20Tejax%C3%BAn%20Solloy.pdf>
24. Varela, A. (2018). *Innovación y desarrollo tecnológico de los procesos y técnicas de mantenimiento para las válvulas en buques de última generación* (Tesis de doctorado). Universidad politécnica de Catalunya, España. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/121197/TAVG1de1.pdf;jsessionid=598F40FA83ED6A940DD56CFF167EF09A?sequence=1>
25. Zambrano, R. (2017). *Propuesta de implantación de mantenimiento centrado en confiabilidad de los activos críticos de la central hidroeléctrica Ocaña* (Tesis de maestría). Universidad del Azuay, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6853>

14. APÉNDICE

Apéndice 1. Árbol de problema



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.