

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-04-2012	A
Dependencia		Aprobado		Pág.
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA		SUBDIRECTOR ACADEMICO		i(142)

AUTOR	JAVIER YESID RINCÓN QUINTERO.		
FACULTAD	INGENIERÍAS.		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERÍA MECÁNICA.		
DIRECTOR	MSC. EDWIN EDGARDO ESPINEL BLANCO.		
TÍTULO DE LA TESIS	DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) PARA EL SISTEMA DE BOMBEO DE LA EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICO DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE GAMARRA CESAR, EMPUGAM S.A.S.		
RESUMEN (70 palabras aproximadamente)			
<p>EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) ES UNA METODOLOGÍA QUE BUSCA DETERMINAR LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO NECESARIAS PARA QUE LOS ACTIVOS FIJOS SIGAN REALIZANDO LAS FUNCIONES PARA LAS QUE FUERON ADQUIRIDOS, CONSIDERANDO LA SEGURIDAD DE LAS PERSONAL Y LA INTEGRIDAD DEL MEDIO AMBIENTE. EL DESARROLLO DE ESTE TRABAJO INVOLUCRA LA EVALUACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO QUE SE EJECUTAN DENTRO DE LA EMPRESA, PARA ASÍ DAR PASO A UN ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS, EL CUAL AYUDA A ESTABLECER EL PLAN DE MANTENIMIENTO, TENIENDO EN CUENTA EL ESTADO CRÍTICO DE LOS EQUIPOS CON LOS QUE SUMINISTRAN EL SERVICIO AL MUNICIPIO.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 142	PLANOS: 0	ILUSTRACIONES: 22	CD-ROM



**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD
(RCM) PARA EL SISTEMA DE BOMBEO DE LA EMPRESA DE SERVICIOS
PÚBLICO DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE GAMARRA CESAR,
EMPUGAM S.A.S.**

Autor:

Javier Yesid Rincón Quintero

Código: 181444

Proyecto de grado presentado como requisito para optar por el título de Ingeniero Mecánico.

Director:

Msc. Edwin Edgardo Espinel Blanco

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PLAN DE ESTUDIO DE INGENIERÍA MECÁNICA

Ocaña, Colombia

Junio de 2021

A Mamá...

Dedicado este logro al motor principal de mi familia, por ser la guía y aliento del esfuerzo y mérito de muchas metas alcanzadas, porque Waldina Quintero Quiñones quien es mi madre, con la compañía de Javier Antonio Rincon Bautista quien es mi padre, bajo la guía espiritual de Dios nos forjo en el lecho maternal de una familia agradecida, que a pesar de muchos años de trabajo arduo me sacó adelante junto con mis hermanas para que seamos personas de bien y salgamos siempre adelante.

Agradecimiento

Doy gracias infinitas a dios, por el donde de la vida, por iluminar mi mente y poner en mi camino a todas esas personas que me han acompañado durante mi carrera universitaria.

Agradezco a mis padres y hermanas por ser el aliento en el inicio de mi carrera, que hoy se convierte en el inicio de un profesional, con muchas metas por cumplir.

Agradezco al Doctor Edwin Edgardo Espinel Blanco directo del proyecto, por toda su ayuda, tiempo y apoyo, para así lograr los objetivos de este trabajo de grado.

JAVIER YESID RINCÓN QUINTERO.

Índice

Introducción	1
Capítulo 1. Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para el sistema de bombeo de la empresa de servicios público de acueducto y alcantarillado de Gamarra Cesar, EMPUGAM S.A.S.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Formulación del problema	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo General.	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Justificación.....	3
1.5 Delimitaciones.....	5
1.5.1 Delimitación Operativa.	5
1.5.2 Delimitación Conceptual.....	6
1.5.3 Delimitación Geográfica.	6
1.5.4 Delimitación Temporal.	6
Capítulo 2. Marco referencial	7
2.1 Antecedentes	7
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	7
2.1.2 Antecedentes nacionales.	8

2.2 Marco contextual.....	9
2.2.1 Mantenimiento.....	9
2.2.2 Tipos de mantenimiento.....	10
2.2.4 El RCM.....	12
2.2.5 Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF).....	15
2.2.6 ¿Para qué puede Usarse un AMFE?.....	18
2.2.7 Diagrama de decisiones del RCM.....	18
2.2.8 Software iRCMS.....	20
2.3 Marco conceptual.....	21
2.4 Marco legal.....	22
2.4.1 MIL-STD-3034.....	22
2.4.2 Norma SAE JA1011.....	22
Capítulo 3. Diseño metodológico.....	23
3.1 Tipo de investigación.....	23
3.2 Procedimiento de investigación.....	23
3.2.1 Fase I: Evaluar la efectividad del plan de manteniendo que actualmente implementa la empresa de servicios públicos de acueducto y alcantarillado de Gamarra Cesar EMPUGAM S.A.S.....	23
3.2.2 Fase II: Realizar un Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) que permita establecer el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), aplicando el software iRCM.....	24

3.2.3 Fase III: Establecer el plan de mantenimiento basado en los lineamientos de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), implementando el software iRCM.....	24
Capítulo 4: Análisis y Resultados	25
4.1 Evaluar la efectividad del plan de manteniendo que actualmente implementa la empresa de servicios públicos de acueducto y alcantarillado de Gamarra Cesar EMPUGAM S.A.S....	25
4.1.1 Funcionamiento de la empresa de servicios públicos EMUGAM S.A.S.....	25
4.1.2 Sistema de bombeo.	26
4.1.3 Revisión a los mantenimientos efectuados al sistema de bombeo.....	28
4.1.4 Evaluación al plan de mantenimiento.	29
4.1.5 Revisión de formatos de mantenimiento.....	44
4.2 Realizar un Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) que permita establecer el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), aplicando el software iRCM...	50
4.2.1 Sistemas y subsistemas a evaluar.....	52
4.2.2 funciones del sistema en el contexto operativo.....	56
4.2.3 fallas funcionales y fallos técnicos.....	58
4.2.4 modos de falla que ocasiona cada falla funcional.....	61
4.2.5 efecto de falla que produce cada falla.	64
4.3 Establecer el plan de mantenimiento basado en los lineamientos de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), implementando el software iRCM	72
4.3.1 Consecuencias en las que afecta cada falla.	72

4.3.2 Medidas preventivas de acuerdo a cada modo de falla	75
4.3.3 Análisis de criticidad como un plan de acción apropiado	81
Conclusión.....	89
Recomendaciones.....	91
Referencias.....	92
APÉNDICE	97

Tabla de Figuras

Figura 1. Procedimiento del RCM.	13
Figura 2. Diagrama de decisiones de RCM.....	19
Figura 3. Interfaz del software iRCMS.	20
Figura 4. Máquina de suministro de zona baja.	27
Figura 5. Máquina de suministro de zona alta.	28
Figura 6. Malla de autoanálisis.	42
Figura 7. Ficha técnica de maquinara.	45
Figura 8. Orden de trabajo.	46
Figura 9. Hoja de vida.	47
Figura 10. Instructivo.	48
Figura 11. Test de corrección de fallas y averías.	49
Figura 12. Diagrama de fronteras de los motores eléctricos.	51
Figura 13. Diagrama de fronteras de las bombas centrifugas.	52
Figura 14. Subsistema – Motor eléctrico.	54
Figura 15. Subsistema – Bomba centrifuga.	55
Figura 16. Funciones – Motor eléctrico.	57
Figura 17. Funciones – Bomba centrifuga.	58
Figura 18. Fallas Funcionales – Motor eléctrico.....	59
Figura 19. Fallas Funcionales – Bomba Centrifuga.....	60
Figura 20. Modo de falla – Motor eléctrico.	62
Figura 21. Modo de falla – Bomba centrifuga.	63
Figura 22. Registro de tarea de mantenimiento y costo de operación.	81

Figura 23. Total de consecuencias.	84
Figura 24. Criticidad total.	84

Listado de Tablas

Tabla 1 Actividades inscritas en RUPS	26
Tabla 2 Evaluación sobre la organización general.....	30
Tabla 3 Evaluación sobre métodos y sistemas de trabajo	31
Tabla 4 Evaluación sobre el control técnico de instalaciones y equipos	32
Tabla 5 Evaluación sobre la gestión de la carga de trabajo	33
Tabla 6 Evaluación sobre la compra y logística de repuestos y equipos	34
Tabla 7 Evaluación sobre los sistemas informáticos.....	35
Tabla 8 Evaluación sobre la organización del taller de mantenimiento.....	36
Tabla 9 Evaluación sobre las herramientas y medios de prueba.....	37
Tabla 10 Evaluación sobre la documentación técnica	38
Tabla 11 Evaluación sobre el personal y formación	39
Tabla 12 Evaluación sobre la contratación	40
Tabla 13 Evaluación sobre el control de la actividad	41
Tabla 14 Ventajas y desventajas de los sistemas de bombeos	56
Tabla 15 Efectos de falla – Motor eléctrico	65
Tabla 16 Efectos de falla – Bomba centrífuga.....	66
Tabla 17 Análisis de modos y efectos de fallas – Motor eléctrico.....	68
Tabla 18 Análisis de modos y efectos de fallas – Bomba centrífuga.....	70
Tabla 19 Consecuencias de falla – Motor eléctrico	73
Tabla 20 Consecuencias de falla – Bomba centrífuga	74
Tabla 21 Hoja de decisiones – Motor eléctrico.....	77
Tabla 22 Hoja de decisiones – Bomba Centrífuga.....	79
Tabla 23 Tabla de ponderación – factor de frecuencia	82

Tabla 24 Tabla de ponderación – factor de consecuencia.....	82
Tabla 25 Análisis de Criticidad – Motor eléctrico	85
Tabla 26 Análisis de Criticidad – Bomba centrífuga	86
Tabla 27 Rango de criticidad	87
Tabla 28 Matriz de criticidad – Motor eléctrico	87
Tabla 29 Matriz de criticidad – Bomba centrífuga	88

Listado de Apéndices

Apéndice A Ficha técnica del motor de zona baja	98
Apéndice B Ficha técnica de motor de zona alta	99
Apéndice C Reporte FMECA IRCMS – Motor eléctrico	100
Apéndice D Reporte de análisis RCM – Motor eléctrico.....	103
Apéndice E Reporte FMECA IRCMS – Bomba centrífuga	113
Apéndice F Reporte de análisis RCM – Bomba centrífuga	116

Introducción

El RCM (por sus siglas en inglés) nace entre los 60 y 80 con la finalidad de ayudar a las personas a determinar las políticas para mejorar las funciones de los activos físicos y manejar las inferencias de sus fallas, evitando consecuencias que desplomen la productividad de las organizaciones. Este tipo de mantenimiento permite a las grandes industrias mejorar el rendimiento de sus procesos operacionales, la calidad y vida útil de las maquinas con las cuales operan dentro de su contexto organizacional.

La empresa de servicios públicos de acueducto y alcantarillado de Gamarra Cesar, EMPUGAM S.A.S. es una organización que brinde a la comunidad del municipio de Gamarra, un bien mancomunado para el sustento y la vida diaria de las personas que habitan en él; desde su constitución (15 de julio de 2014) opera para las actividades inscritas en el RUPS, con sus respectivas vigencias de objeto de análisis, dentro de sus actividades encontramos captación, conducción, almacenamiento, distribución y comercialización del agua potable (esto para el servicio de acueducto) y las actividades como son recolección, conducción, disposición final y tratamiento de residuos sólidos (para servicios de alcantarillados).

De acuerdo con lo anterior planteado se busca diseñar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, debido a que la empresa EMPUGAM no cuenta con uno de estos sistemas que ayuden a mejorar el rendimiento y a preservar la vida útil de los motores que componen el sistema de bombeo de la organización.

Este plan de mantenimiento indicara los procedimientos a seguir para realizar las rutinas y frecuencias de inspección, garantizando que sea auto sostenible en el cauce del tiempo, esto de acuerdo a las medidas que se tomen y las acciones que permitan un desarrollo eficiente de las

actividades de mantenimiento, de esa misma forma permite integrar todas las operaciones impedidas en ellas que impactan en los objetivos corporativos y a su vez del sector.

La aplicación del mantenimiento actualmente juega un rol primordial en el desarrollo social y económico de un país, sobre todo en los procesos donde forma parte activas del sistema de generación y distribución de energía, todo esto ayuda a maximizar la investigación a futuro mejorando la confiabilidad, la mantenibilidad, la disponibilidad, la rentabilidad, la competitividad y la productividad de los sistemas.

Capítulo 1. Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para el sistema de bombeo de la empresa de servicios público de acueducto y alcantarillado de Gamarra Cesar, EMPUGAM S.A.S.

1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad las grandes empresas buscan obtener nuevas tecnologías que ayuden a reducir los costes de producción y aumentar la calidad de sus servicios, estas nuevas tecnologías han traído un cambio radical a las personas, en la inclusión de máquinas que facilitan el desarrollo y diseño de nuevos elementos que ayudan en la vida remota del medio común. Esta inclinación ha traído consigo un incremento en la demanda de mantenimiento y un aumento en el costo del mismo, debido a que se necesita un gran aval de desempeño y capacidad de producción de los equipos.

La empresa de servicios públicos de acueducto y alcantarillado de Gamarra Cesar EMPUGAM S.A.S. no cuenta con un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), el cual es necesario ya que se requiere de una metodología de análisis sistemático, objetivo y documentado, aplicable a cualquier tipo de instalación y muy útil para el desarrollo u optimización de un plan eficiente de mantenimiento preventivo. (Díaz Concepción et al., 2016).

La empresa de servicios públicos de acueducto y alcantarillado de Gamarra Cesar EMPUGAM S.A.S. cuenta con un plan de mantenimiento preventivo para los equipos del sistema de bombeo, donde se encuentran tres motores que constituyen este sistema, desde la puesta en marcha de estos motores no se ha tenido el debido provecho en la ejecución del programa de mantenimiento preventivo correspondiente, por consiguiente esta situación no solo presenta consecuencias funcionales en el sistema, sino también operacionales debido a las paradas por fallas, lo que provoca costos en la producción.

1.2 Formulación del problema

De acuerdo con lo planteado anteriormente, se busca dar respuesta a la siguiente pregunta de investigación ¿Cómo diseñar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), para mejorar la gestión de los activos en la organización?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General.

Diseñar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para el sistema de bombeo de la empresa de servicios públicos de acueducto y alcantarillado de Gamarra Cesar, EMPUGAM S.A.S.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- ✓ Evaluar la efectividad del plan de manteniendo que actualmente implementa la empresa de servicios públicos de acueducto y alcantarillado de Gamarra Cesar EMPUGAM S.A.S.
- ✓ Realizar un Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) que permita establecer el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), aplicando el software iRCM.
- ✓ Establecer el plan de mantenimiento basado en los lineamientos de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), implementando el software iRCM.

1.4 Justificación

En el pasado reciente la aplicación del RCM solo buscaba ayudar a determinar nuevas políticas para mejorar las funciones de los activos físicos y efectuar las consecuencias de sus fallas; en la actualidad el fuerte crecimiento industrial, producto de los avances tecnológicos, ha desarrollado varias oportunidades laborales, fortaleciendo la competitividad de las organizaciones con la necesidad de mejorar los procesos industriales que dieron como resultado plantas más grandes y complejas, (Lucas de Oliveira, De Vasconcellos Favarin, & Ruppenthal, 2018) es así como la gestión del mantenimiento debe ser estratégica ya que es vital para la supervivencia y el éxito de la empresa, haciendo un buen uso de diferentes herramientas de análisis de fallos que permiten un enfoque más amplio porque cada una tiene atributos que hacen que el análisis sea más robusto, dando como resultado un análisis gestionado de forma eficaz. (de Souza Nunes & de Oliveira Andrade, 2019)

Por consiguiente se busca diseñar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), que facilite obtener un diagnóstico a tiempo, antes de que se propicie una falla, para así lograr mejorar la prestación del servicio a la comunidad y reducir los costos de mantenimiento, optimizando la vida útil de los motores y reduciendo las paradas no planificadas debido a fallas funcionales.

“El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (Reliability Centered Maintenance, RCM) es un enfoque que combina prácticas y estrategias de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo, con la finalidad de maximizar la disponibilidad de los activos. Se realiza el análisis de confiabilidad operacional para ofrecer beneficios, tales como: reducción del tiempo y optimización de la frecuencia de las paradas programadas y no programadas, mejora de la

efectividad del mantenimiento, de la calidad de los procesos y servicios, entre otros”. (Álvarez Zaldívar & Hernández Areu, 2020)

Comprender de manera óptima el funcionamiento del sistema de bombeo, nos permite establecer una visión más amplia de investigación científica de lo que se debe realizar para que su operación cumpla con las funciones específicas del sistema, aplicando herramientas de mantenimiento con un nivel crítico del proceso en la prestación del servicio, para mejorar los indicadores de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad del equipo, buscando obtener una reducción de los costos asociados al mantenimiento. (Cordero & Estupiñan, 2018)

“El enfoque de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) ha proporcionado las principales herramientas para determinar cuáles son los requerimientos de mantenimiento de cualquier activo físico en su contexto operacional. Uno de los clásicos del RCM, J. Moubray, plantea que han sido desarrolladas un gran número de técnicas con la intención de proporcionar una base cuantitativa para decidir cuáles activos son más probables de beneficiarse con la aplicación de diferentes políticas de mantenimiento”. (Pino Gómez et al., 2017)

Un enfoque de mantenimiento centrado en confiabilidad, permite además acortar el tiempo de las detenciones, y disminuir las pérdidas asociadas a las mismas, (Díaz Concepción et al., 2016) este tipo de procedimiento es utilizado y establecido para evaluar y documentar sistemáticamente, por análisis de modo de falla del equipo, el impacto potencial de cada falla funcional en el éxito de la misión, seguridad del personal y del sistema, rendimiento del sistema, mantenibilidad y requisito de mantenimiento. (Appollis, van Dyk, & Matope, 2020)

El AMEF destaca los posibles fallos de un proceso, identificando así posibles desviaciones de los requisitos del proceso y ayudando al equipo de operaciones durante la resolución de problemas. (Appollis et al., 2020) La evaluación de riesgos es uno de los pasos más importantes,

en el que se realiza el análisis de tres puntos: (I) severidad, punto en el que se evalúa el nivel de impacto de una falla; (II) ocurrencia, en la que analiza con qué frecuencia puede ocurrir la causa de la falla y (III) detección, en la que evalúa qué tan bien los controles de producto o proceso detectan la falla o el modo de falla, (Ferreira, Rodrigues, Franciscato, & Correr, 2017) esto es aplicable para identificar todos los posibles modos potenciales de falla y determinar el efecto de cada uno en el desempeño del sistema.

La disposición del mantenimiento y de la forma de operar una instalación industrial tiene su reflejo en el estado técnico en que se encuentra en cada momento. (Martínez Pères & Álvarez García, 2019) se puede decir que la confiabilidad operacional surge de la necesidad de crecimiento para mejorar la productividad, minimizando la parada de los equipos principales, para así proponer un modelo que asuma la responsabilidad, no solo en el proceso físico de deterioro sino en la estadística de historia de fallas como objetivo de buscar la relación causal entre los elementos del sistema. (Benítez Montalvo, Díaz Concepción, Cabrera Gómez, García Palencia, & Maura Echenique, 2016) Los artículos publicados sobre este tema están más dirigidos a la gestión del activo que al RCM.

1.5 Delimitaciones

1.5.1 Delimitación Operativa.

El desarrollo y ejecución de este proyecto se llevara a cabo con la asesoría del MSc. Edwin Edgardo Espinel Blanco, docente de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña y el Ingeniero Mecánico José Francisco Rivera Díaz egresado de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña y coordinador del área de manteniendo de la empresa EMPUGAM; los cuales contribuirán al desarrollo de la propuesta.

1.5.2 Delimitación Conceptual.

Las temáticas a emplear en este proyecto son:

- ✓ Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).
- ✓ Sistema de bombeo.
- ✓ Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF).
- ✓ Software iRCM.

1.5.3 Delimitación Geográfica.

El diseño del plan de mantenimiento basado en la confiabilidad se limita al municipio Gamarra, Cesar.

1.5.4 Delimitación Temporal.

Este proyecto tendrá una duración aproximada de 12 semanas a partir de la aprobación del anteproyecto; los cuales, serán pertinentes para el desarrollo de los objetivos planteados.

Capítulo 2. Marco referencial

2.1 Antecedentes

En la actualidad las grandes empresas están amplificando un sistema de manteniendo, el cual les permite mejorar y reducir costos en la producción; el RCM desde sus inicios en la industria comercial de aviación de los Estados Unidos busco mejorar la seguridad y confiabilidad de sus equipos, y ha sido utilizada para determinar estrategias de mantenimiento de sus activos físicos.

Este tipo de mantenimiento se ha venido implementando como una estrategia para la identificación, prevención y mitigación de posibles fallas que puedan desarrollarse en cualquier activo físico del ámbito de trabajo, con el fin de evitar emergencias, paradas por fallas o detención de las maquinas, debido a que esto ocasiona pérdidas y genera un costo elevado en la producción.

2.1.1 Antecedentes internacionales.

La industria en la actualidad busca nuevos avances tecnológicos que ayuden a enfrentarse a los innumerables retos que exigen cada día un mayor esfuerzo en la adaptación de su contexto operacional, con el fin de cumplir a cabalidad todos los estándares de calidad, mostrándose en el mercado internacional como una empresa competitiva.

“La empresa Codelco (Corporación Nacional del Cobre de Chile) es una empresa autónoma, propia de todos los chilenos y chilenas, es la principal mina del mundo productora de cobre, líder en reservas del mineral a nivel planetario y motor del desarrollo del país”.(CODELCO, 2001)

“Es una de las empresas más rentables de la industria, posee activos propios de US\$ 5.819 millones y un patrimonio de US\$ de 2.777 millones, a diciembre del 2000 su principal producto comercial es el cátodo de cobre grado A.”(Duran, 2020)

“La empresa realizó un estudio piloto del RCM, en instalaciones de la división del salvador, donde se enmarca el estudio de dos sistemas críticos de la planta de chancado de la subgerencia de Lixiviación, donde se lograron beneficios como el aumento de producción del 14%, reducción de Costos de Mantenimiento identificados entre 170-310k US\$/año, impacto en producción entre US\$ 600 mil y un millón US\$ anuales, Evaluación Económica: IRR promedio: 1100 %, NPV promedio: 1.6 MUS\$ y se eliminó una de las 2 paradas de mantenimiento semanales de 4 horas, actualmente se hacen más inspecciones. Todas estas disposiciones se lograron después de implantar la mayoría de las recomendaciones.”(Duran, 2020)

“El proyecto se inició con el estudio de las funciones de la división, sub-gerencia y planta de chancado, luego se estudió la criticidad de la planta, lo cual demostró que el sentido de la criticidad tenido antes del proyecto era errado en el 95% del personal. Luego se realizaron los estudios de mantenimiento y la estimación de beneficios potenciales. También se realizaron estudios adicionales mediante el uso de herramientas de toma de decisiones (MACRO), mostrando como estas pueden ayudar a evaluar el riesgo en la toma de decisiones de una manera numérica y confiable. Adicionalmente se efectuaron actividades de comunicación y difusión del proyecto a lo largo de la división, así como también actividades de motivación.” (Duran, 2020)

2.1.2 Antecedentes nacionales.

Cerro Matoso S.A es una compañía minera a cielo abierto localizada en Colombia en el departamento de Córdoba que ha operado durante más de 35 años, desempeñándose como una de las principales productoras mundiales de ferróníquel, la cual es destacada por ser una fuerza impulsadora importante de la economía local, ayudando al fortalecimiento de la región.(Matoso, 2020)

La mina y fundición de latería de níquel es una importante productora de ferroníquel (aleación de níquel y hierro), ya que es utilizada para la fabricación de acero inoxidable, en la realización de artículos domésticos de uso diario.(Matoso, 2020)

La compañía diseña un programa de mantenimiento utilizando la metodología Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), la cual es aplicada a la flota de camiones Caterpillar 777G de Cerro Matoso S.A, con el ánimo de reducir los costos de mantenimiento y garantizar la disponibilidad de los equipo en su entorno operacional actual.(Oviedo Serrano & Sepúlveda Pimienta Mayo del, 2017)

El plan se desarrolló mediante un análisis de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), el cual permitió entender el funcionamiento del equipo. Se analizaron sus funciones, fallas principales, modos de falla, efectos y consecuencias. (Oviedo Serrano & Sepúlveda Pimienta Mayo del, 2017)

La nueva propuesta de mantenimiento, se centró en los principales sistemas del equipo (eléctrico, potencia, hidráulico, frenos, dirección y motriz) teniendo en cuenta aspectos de salud, seguridad, ambiente y operación. Las actividades de limpieza, inspección, revisión, lubricación, cambios de fluidos, ajustes y reemplazos se basan en la condición de los componentes, mas no en el tiempo de operación que éstos tengan. También se determinó el stock de repuestos que deben permanecer en bodega, basándose el diagrama de decisión del RCM. (Oviedo Serrano & Sepúlveda Pimienta Mayo del, 2017)

2.2 Marco contextual

2.2.1 Mantenimiento.

“El mantenimiento es una actividad que debe ejecutarse en paralelo con la función de producción en las instalaciones. En la aplicación de mantenimiento, el equipo y la relación del

producto fabricado no deben ignorarse”. “Las actividades de mantenimiento deben implementarse de manera que permitan que el equipo produzca la velocidad y calidad del producto cumpliendo la función esperada dentro de un tiempo específico y ciertos límites”.

(Yavuz et al., 2019)

“Las estrategias de mantenimiento de los componentes del sistema de distribución incluyen el mantenimiento preventivo y correctivo. La priorización y programación del mantenimiento se hace a la gestión económica, debido a que el capital es limitado y además la inversión debe estar en línea con la eficiencia económica. En otras palabras, la priorización del mantenimiento preventivo de los sistemas de distribución de estos componentes se realiza para reducir los costos derivados de las interrupciones y acciones de mantenimiento, con esto se trata de elegir la estrategia adecuada de mantenimiento en el sistema de distribución y sugiere la mejor combinación de políticas y acciones de mantenimientos correctivos, preventivos y predictivos”.

(Afzali, Keynia, & Rashidinejad, 2019)

“Las operaciones de mantenimiento convencionales también pueden verse como una estrategia operativa para minimizar el riesgo de pérdida de rendimiento causada por fallas de la máquina, ya que generalmente están programadas para seguir un plan de mantenimiento específico que se determina prediciendo las próximas averías de la máquina”. (Yu & Han, 2021)

2.2.2 Tipos de mantenimiento.

Existen tres tipos de manteniendo esenciales en la industria, debido a que los equipos y las maquinas son una parte fundamental de las diferentes organizaciones, estos tipos de mantenimiento permiten llevar a un ritmo estable la producción, evitando paradas y altos costos de la misma.

2.2.2.1 Mantenimiento correctivo.

“Es una acción de reparación que se realiza cada vez que falla el sistema; esto significa realizar todas las acciones, como resultado de una falla, para restaurar un sistema a una condición específica. Simplemente, la acción se puede realizar reemplazando el sistema fallado por uno nuevo o simplemente eliminando la falla reparando el sistema y devolviéndolo al estado de trabajo”. (Hamdan, Tavangar, & Asadi, 2021)

2.2.2.2 Mantenimiento preventivo.

“Es una acción realizada en un sistema que todavía está en funcionamiento pero que puede funcionar en condiciones de trabajo insatisfactorias”(Hamdan et al., 2021). “Generalmente, las actividades de mantenimiento preventivo se realizan antes de que un sistema se averíe, con el objetivo de reducir la degradación del sistema y su riesgo de falla. Cuando una inspección revela un defecto, se puede programar una acción de mantenimiento (por ejemplo, reemplazo)”.(Zhang, Shen, Liao, & Ma, 2021)

“Las fallas de las máquinas pueden ocurrir durante la producción, y el mantenimiento preventivo puede garantizar la eficiencia y seguridad de la producción. Es importante tomar decisiones conjuntas sobre la programación de la producción y la planificación del mantenimiento para obtener una solución precisa del problema”. (S. Lu, Pei, Liu, & Pardalos, 2021)

2.2.2.3 Mantenimiento predictivo.

“Es la aplicación sistemática basada en condiciones tempranas como advertencias para brindar un mantenimiento oportuno antes de llegar a fallar el equipo. Por lo tanto, es imperativo que las máquinas estén equipadas con un sistema y/o sensores que proporcionen señales tempranas de avería”.(Jaramillo Jimenez, Bouhmala, & Haugen Gausdal, 2020)

“Los datos de la maquinaria recopilados por los monitores, por ejemplo, sensores (cableados o inalámbricos), se analizan para proporcionar un pronóstico coherente sobre cuándo un componente o maquinaria determinada debe reemplazarse o mantenerse, optimizando así el costo de mantenimiento y el tiempo de inactividad”.(Kimera & Nangolo, 2020)

2.2.4 El RCM.

“El mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) es una metodología en la aplicación de una herramienta de mantenimiento que proporciona dos piezas importantes de información; criticidad de un equipo y la operación de mantenimiento más adecuada a aplicar. Esta técnica fue diseñada para crear un equilibrio entre los costos y los beneficios para seleccionar el plan de mantenimiento más efectivo y se basa en los principios de la ingeniería de confiabilidad”.
(Zakikhani, Nasiri, & Zayed, 2020)

“La confiabilidad se expresa normalmente en términos de tasa de falla” (Moubray, 1997).
“Aunque es difícil predecir la ocurrencia real de fallas, podemos estimar el tiempo de mantenimiento de una máquina durante su uso en base a su función de tasa de falla $F(t)$, es decir, la tasa de fallas por unidad de tiempo que se puede esperar que ocurra para la máquina con el tiempo de funcionamiento t ”.(X. Q. Lu et al., 2020)

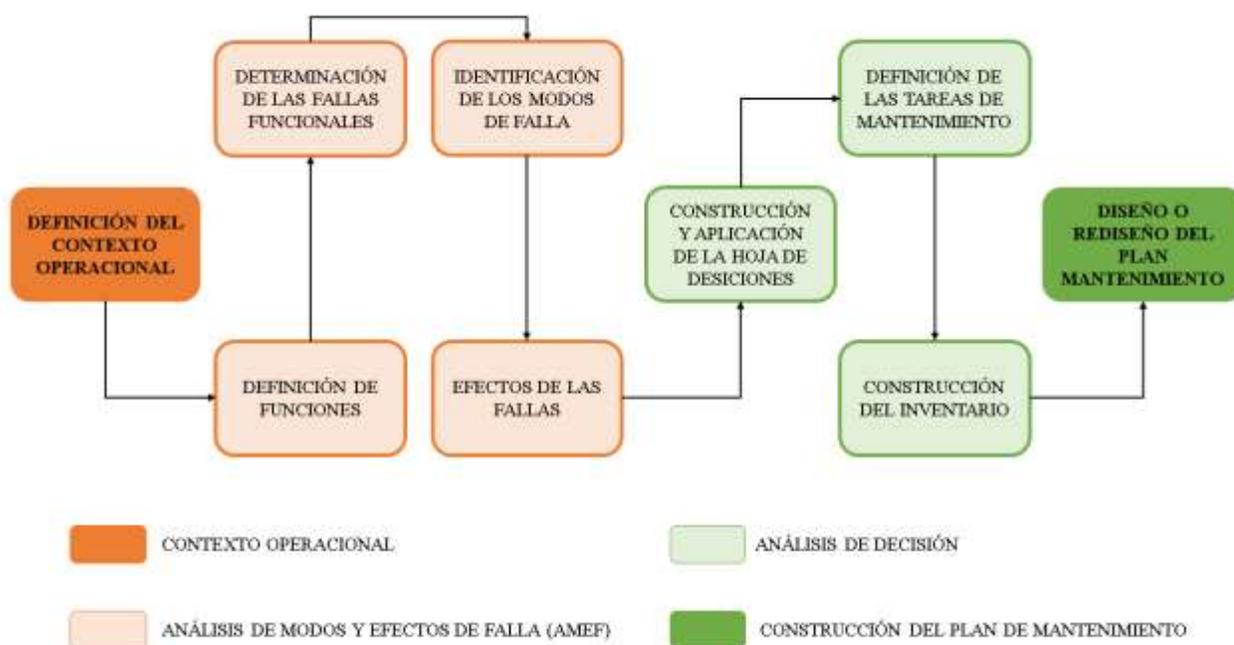


Figura 1. Procedimiento del RCM.

Fuente: autor del proyecto basado en (Moubray, 1997)

“Este proceso es utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que los usuarios quieren que haga en su contexto operativo actual. Crea estándares para la continuidad de la función en el proceso de fabricación del equipo y el rendimiento esperado del equipo. Este proceso examina pérdidas de función, modos de falla, frecuencias de los modos de falla y los efectos de estos modos de falla. También establece planes de trabajo para prevenir pérdidas y modos de falla antes de que ocurran, y establece equipos responsables”.(Yavuz et al., 2019)

“El proceso de toma de decisiones en RCM mejora el sistema de gestión de mantenimiento mediante la definición de los pasos del trabajo a realizar en el mantenimiento de equipos, determinar los períodos de los pasos del trabajo y los repuestos que se utilizarán. Sin embargo, permite decidir si el equipo es conveniente para el proceso, y determina los cambios de diseño en las necesidades del equipo para nuevas inversiones y conveniencia de procesamiento. Al

desarrollar todos estos estándares, prioriza los impactos ambientales y la seguridad en el trabajo”. (Yavuz et al., 2019)

2.2.4.1 Que logra el RCM.

- ✓ Mayor seguridad e integridad medioambiental.
- ✓ Desempeño operativo optimizado.
- ✓ Mejor relación costo-efectividad.
- ✓ Mayor vida útil en equipos de costos elevados.
- ✓ Un banco de datos comprensible.
- ✓ Mejoras en la motivación individual.
- ✓ Mejora en el trabajo en equipo.

2.2.4.2 Siete preguntas básicas.

“RCM dentro de su proceso incita a dar respuesta a las siguientes preguntas sobre el bien o sistema bajo revisión”.

- ✓ ¿Cuáles son las funciones y respectivos estándares de desempeño de este bien en su contexto operativo presente?
- ✓ ¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?
- ✓ ¿Que ocasiona cada falla funcional?
- ✓ ¿Qué sucede cuando se produce cada falla en particular?
- ✓ ¿De qué modo afecta cada falla?
- ✓ ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
- ✓ ¿Qué debe hacerse si no se encuentra el plan de acción apropiado?

2.2.5 Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF).

“Es normalmente empleada para la planeación del mantenimiento centrado en confiabilidad, ya que nos permite lograr un entendimiento global del sistema, así como del funcionamiento y la forma en la que pueden presentarse las fallas de los equipos que componen este sistema. Las acciones de recomendación derivadas de un *FMECA* o *AMFEC* quedan definidas como acciones o tareas de mantenimiento”.(Aguilar Otero, Torres Arcique, & Magaña Jiménez, 2010)

2.2.5.1 Función.

Cada elemento de los equipos debe de haberse adquirido para unos propósitos determinados. En otras palabras, deberá tener una función o funciones específicas. La pérdida total o parcial de estas funciones afecta a la organización en cierta manera. “El análisis funcional es necesario para poder entrar al proceso de evaluación de los modos de falla, ya que se requiere conocer e identificar cuáles son aquellas funciones que el usuario espera o desea que su activo desempeñe. Se requiere identificar tanto la función principal y como las secundarias”.(Aguilar Otero et al., 2010)

2.2.5.1.1 Funciones primarias.

Son las que sintetizan porque el bien fue adquirido en primer lugar.(Moubray, 1997)

- ✓ Velocidad.
- ✓ Rendimiento.
- ✓ Capacidad de transportación o almacenamiento.
- ✓ Calidad del producto.
- ✓ Servicio al cliente.

2.2.5.1.2 *Funciones secundarias.*

Son las que indican que se espera, que todo bien produzca más que simplemente su función primaria.(Moubray, 1997)

- ✓ Seguridad.
- ✓ Control.
- ✓ Contención.
- ✓ Confort.
- ✓ Integridad estructural.
- ✓ Economía.
- ✓ Protección.
- ✓ Eficiencia de operación.
- ✓ Cumplimiento con las normas medio ambientales.
- ✓ Estética o apariencia del bien.

2.2.5.2 *Falla.*

“Una falla será aquella que evita que un activo desempeñe su función conforme a un estándar de desempeño definido”.(Aguilar Otero et al., 2010)

“Es importante para el entendimiento de la falla, poder identificar los dos diferentes estados de falla que se pueden presentar (“*fault*” y “*failure*”); primeramente, aquel estado de falla, en el cual un activo simplemente deja de funcionar y otro, en el cual el activo no desempeña su función conforme a un estándar de desempeño deseado o bien, conforme a las necesidades que el usuario tiene, pero no necesariamente deja de funcionar. Es esta última condición, es la que más nos interesa estudiar y la denominamos “falla funcional”, así, una falla será aquella que evita que

un activo desempeñe su función conforme a un estándar de desempeño definido”.(Aguilar Otero et al., 2010)

2.2.5.2.1 Falla funcional:

Se define como la incapacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado.(Moubray, 1997)

2.2.5.3 Modo de falla.

“Un modo de falla puede ser definido como cualquier evento que causa que un bien (sistema o, proceso) puedan fallar”.(Moubray, 1997) “A cada modo de falla le corresponde una acción de mitigación o prevención, dentro del proceso de administración del riesgo estas acciones pueden ser orientadas a desviaciones del proceso, factores humanos, etc., o bien, como en este caso, donde el objetivo del FMECA es diseñar un plan de mantenimiento, a cada modo de falla le corresponderá una tarea de mantenimiento”.(Aguilar Otero et al., 2010)

2.2.5.4 Efecto de falla.

“Los efectos de las fallas describen que sucede cuando se presenta un modo de falla. Tenga en cuenta que los efectos de las fallas no son lo mismo que consecuencias de las fallas. (Un efecto de falla responde a la pregunta ¿qué sucede?, mientras que la consecuencia responde a ¿(como) afecta?”(Moubray, 1997)

“Una descripción de los efectos de falla debe incluir toda la información necesaria para respaldar la evaluación de las consecuencias de la falla. Específicamente cuando se describen los efectos de una falla, se debe registrar lo siguiente”: (Moubray, 1997)

- ✓ Que evidencias hay (de ser así) de que la falla sucedió.
- ✓ En qué medida (si así fuera) representa una amenaza para la seguridad o el medioambiente.

- ✓ De qué manera (si así fuera) afecta la producción u operaciones.
- ✓ Que daño físico (si lo hubiera) es causado por la falla.
- ✓ Que debe hacerse para repararla.

“Con los efectos identificados, se deberán de evaluar las consecuencias de los mismos. Los efectos nos dan una excelente referencia del comportamiento de la falla y de la forma en la que esta se manifiesta”.(Aguilar Otero et al., 2010)

2.2.6 ¿Para qué puede Usarse un AMFE?

- ✓ Seleccionar las alternativas que mejoren la confiabilidad.
- ✓ Mejorar la seguridad de las Instalaciones.
- ✓ Analizar Los Modos y causas de Falla.
- ✓ Listar Las Fallas potenciales e identificar la severidad de sus efectos.
- ✓ Obtener un criterio temprano de desempeño de los equipos.
- ✓ Proveer la documentación histórica para la referencia futura.
- ✓ El análisis de fallas de campo y consideración de cambios del plan mantenimiento.
- ✓ Proveer una base para la planificación de mantenimiento.
- ✓ Proveer una base para la confiabilidad cuantitativa y un análisis disponibilidad.

2.2.7 Diagrama de decisiones del RCM.

“El diagrama de decisiones es una herramienta que se utiliza para determinar las estrategias de mantenimiento (figura 2). En el proceso de RCM luego de evidenciar que tipo de consecuencias se encuentran asociada con el modo de falla, se determina qué estrategia de mantenimiento se va a ejecutar”.(Poveda Guevara, 2011)

“Al evaluar cada etapa del diagrama, se analiza que tipo de tarea es la más adecuada para cada modo de falla”. (Poveda Guevara, 2011)

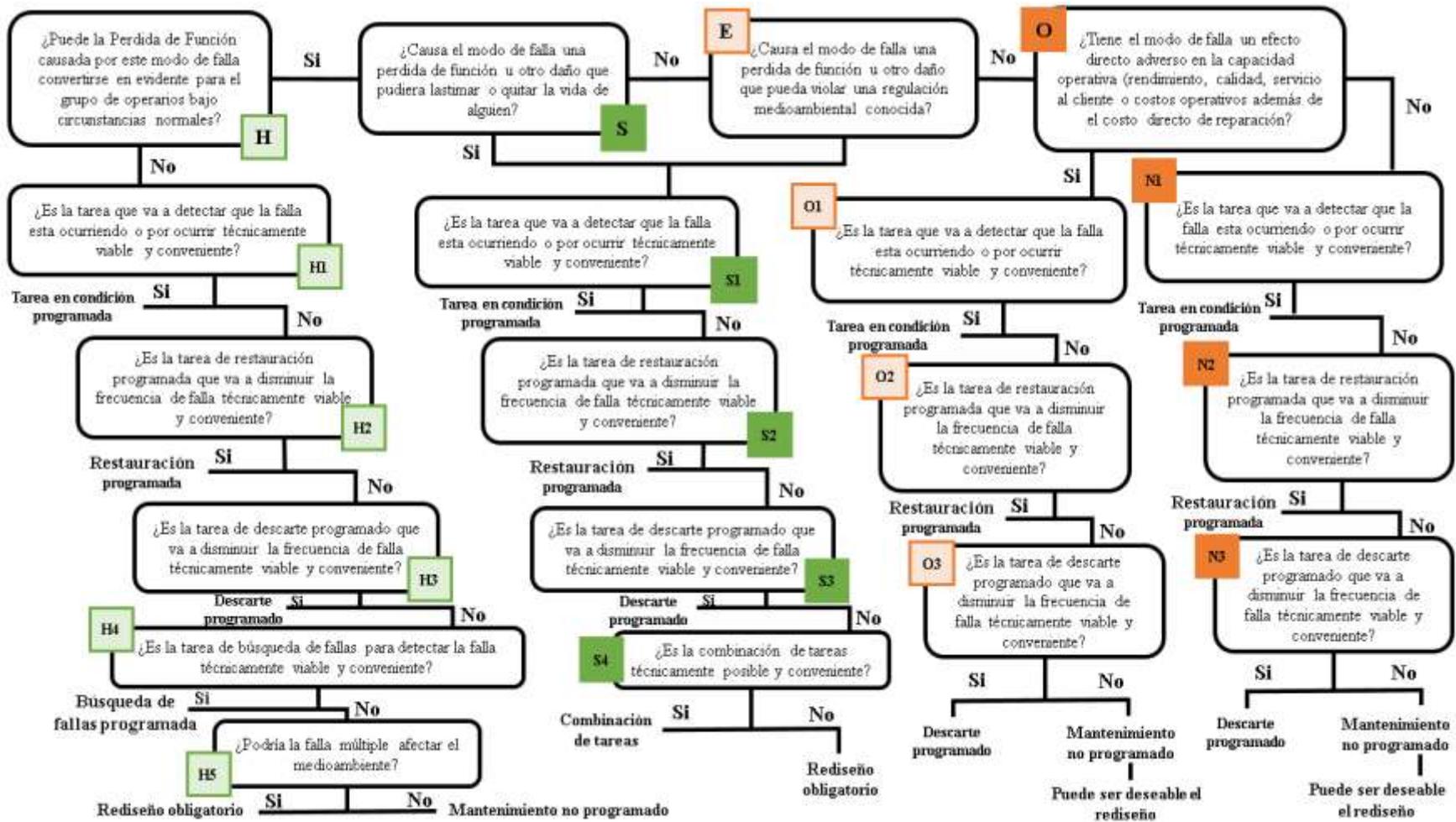


Figura 2. Diagrama de decisiones de RCM.

Fuente: basado en (Moubray, 1997)

2.2.8 Software iRCMS.

“El programa Integrated Reliability-Centered Maintenance System (IRCMS) es una herramienta de software utilizada por los programas Naval Air Systems Commands (NAVAIR). IRCMS permite a los analistas realizar y documentar análisis de RCM para determinar la aplicabilidad y los intervalos de inspección preliminares para posibles tareas del plan de mantenimiento”. (IRCMS, 2017)

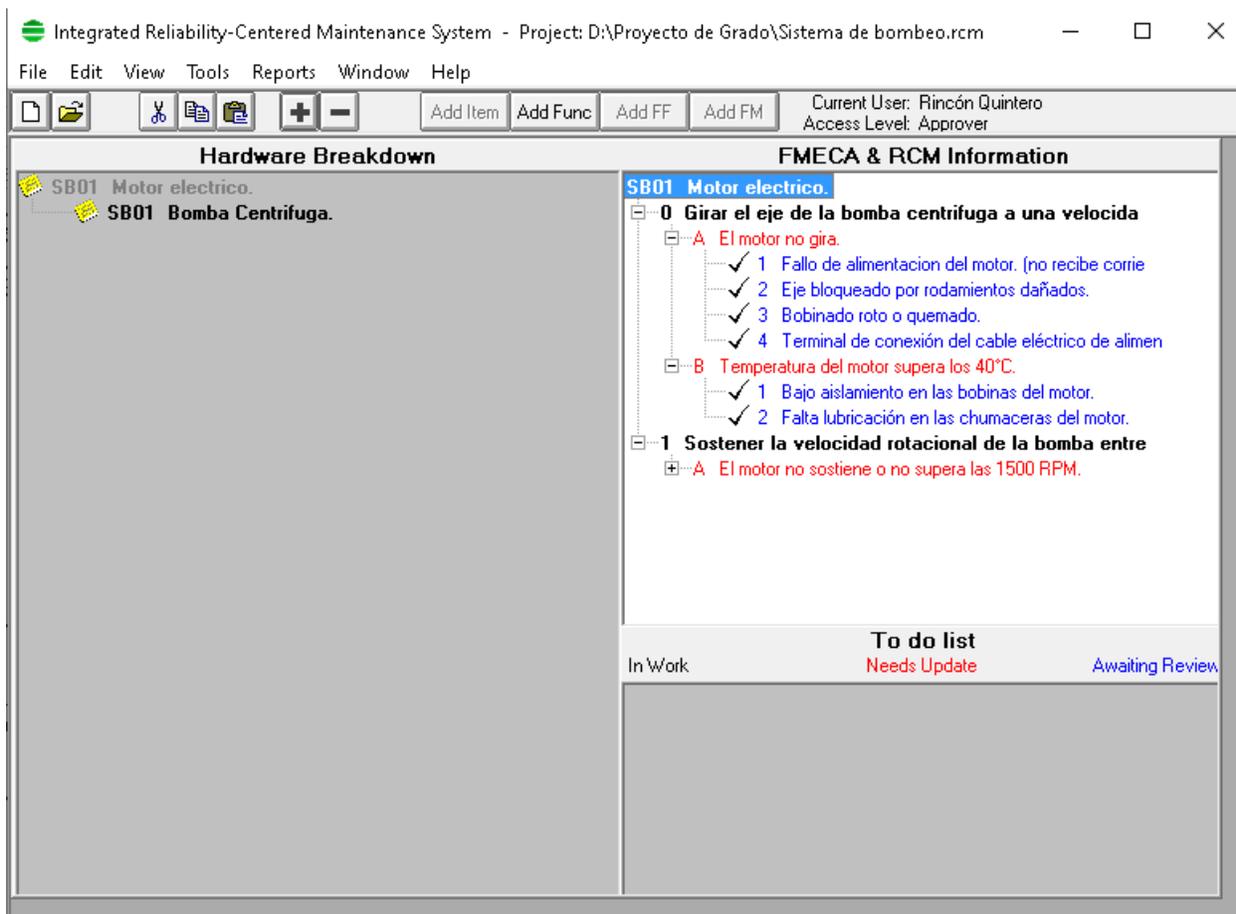


Figura 3. Interfaz del software iRCMS.

Fuente: autor del proyecto.

“El IRCMS retiene los datos que fueron desarrollados y utilizados en el proceso de toma de decisiones de RCM para proporcionar un medio para establecer una pista de auditoría. Se debe

enfaticar que IRCMS no puede realizar un análisis RCM. Requiere la participación de un analista que tenga conocimientos de la teoría de RCM y sepa cómo utilizar el programa”.(IRCMS, 2017)

“IRCMS es capaz de generar varios informes diferentes, cada uno de los cuales se basa en los datos de entrada. Algunos informes permiten al usuario establecer filtros para limitar la información que se incluye en el informe. Ciertos informes también permiten al usuario controlar cómo se ordenan los datos aplicando una clasificación a los datos del informe. Estas funciones brindan al usuario flexibilidad para generar un informe que se adapte a su propósito”.(IRCMS, 2017)

2.3 Marco conceptual

Activo: “Equipo que compone un sistema dentro de una organización”.

Acción/recomendación: “Tarea asignada para dar solución a una falla”.

Afectación: “Efecto que produce una falla funcional”.

Avería: “Fallo que afecta el funcionamiento de un activo”.

Causa de falla: “Circunstancias asociadas con la manufactura de un activo, su uso y mantenimiento que hayan conducido a una falla”.

Ciclo de vida: “Tiempo durante el cual un equipo conserva su capacidad de utilización”.

Chumaceras: “Pieza en la que descansa y gira el eje de una maquina”.

Confiabilidad operacional: “Capacidad de una activo para cumplir sus funciones”.

Consecuencia: “Resultado de un evento”.

Consecuencia de una Falla: “Aspecto en cómo afecta un modo de falla”.

Contexto Operacional: “Desarrollo de las acciones dentro del entorno del trabajo”.

Criticidad: “Riesgo que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos”.

Defecto: “Causa inmediata de una falla”.

Disponibilidad: “Proceso que consiste en medir el estado de los sistemas”.

Efecto de falla: “Aspecto que describe lo que ocurre cuando acontece un modo de falla”.

Equipo: “Activo que desarrolla una función dentro de una organización”.

Falla: “Incapacidad de un activo de cumplir con las funciones para el cual fue adquirido”.

Falla funcional: “Estado indeseable de un sistema”.

Jerarquización: “Ordenamiento de tareas de acuerdo con su prioridad”.

Modo de falla: “Evento que causa que un bien pueda fallar”.

Riesgo: “Probabilidad de tener una pérdida”

2.4 Marco legal

2.4.1 MIL-STD-3034, RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) PROCESS; MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA LOS PROCESOS.

“Es una norma establecida el 21 de enero de 2011, el cual tiene como propósito describir la metodología necesaria para desarrollar el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), por consiguiente se pueda emplear con el objetivo de resolver los requisitos de mantenimiento (enfocada a la detección de fallas, servicio, tiempo y lubricación), aplicada para todos los niveles de sistema o grupos de equipos”. (Mil-p-, 2008)

2.4.2 Norma SAE JA1011, EVALUATION CRITERIA FOR RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) PROCESSES; CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA PROCESOS DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM).

“esta norma establece que para que el proceso será reconocido como RCM debe seguir siete pasos proporcionados como criterios originales que buscan capacitación, facilitación y consultoría de la misma”.(Sifontes, 2017)

Capítulo 3. Diseño metodológico

3.1 Tipo de investigación

Este proyecto se desarrolla considerando tres etapas, las cuales buscan dar respuesta a la pregunta de investigación. Primero se evalúa el plan de mantenimiento que implementa la empresa de servicios públicos, seguido se realiza un análisis de modos y efectos de fallas implementando el software iRCM, y por último se establece el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

Esta investigación establece un análisis sistemático cualitativo nominal, mediante la determinación y evaluación de variables dentro del proceso; además se presenta una investigación descriptiva, debido a que se tiene en cuenta el sistema de bombeo de la empresa desde su captación del agua, identificando los parámetros requeridos para el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, aplicado al software iRCM.

3.2 Procedimiento de investigación

Para el desarrollo de cada uno de los objetivos específicos planteados en este proyecto, se llevarán a cabo tres fases, las cuales se desarrollan por medio de actividades, que permitirán dar respuesta a la formulación del problema.

3.2.1 Fase I: Evaluar la efectividad del plan de manteniendo que actualmente implementa la empresa de servicios públicos de acueducto y alcantarillado de Gamarra Cesar EMPUGAM S.A.S.

- ✓ Describir el funcionamiento de la empresa de servicios públicos EMPUGAM S.A.S e identificar la zona del sistema de bombeo.
- ✓ Revisión del plan de mantenimiento actual con el que cuenta el sistema de bombeo.

- ✓ Evaluar el cumplimiento y ejecución del plan de mantenimiento preventivo que se le realiza al sistema de bombeo.
- ✓ Revisar los formatos de mantenimiento con los que se ejecutan las actividades del plan de mantenimiento preventivo.

3.2.2 Fase II: Realizar un Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) que permita establecer el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), aplicando el software iRCM.

- ✓ Listar los subsistemas, equipos y elementos que componen el sistema de bombeo.
- ✓ Identificar detalladamente las funciones del sistema con el cual opera la empresa, en su contexto operativo presente.
- ✓ Determinar cada una de las fallas funcionales y fallos técnicos que no garantice el cumplimiento de las funciones del sistema.
- ✓ Establecer los modos de fallas que puedan ocasionar cada falla funcional.
- ✓ Identificar cada efecto de falla cuando se produce cada falla en particular.

3.2.3 Fase III: Establecer el plan de mantenimiento basado en los lineamientos de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), implementando el software iRCM.

- ✓ Estudiar las consecuencias de cada modo y efecto de falla en las que afecta cada falla.
- ✓ Plantear las medidas preventivas de acuerdo a cada modo de falla, que eviten o atenúen los efectos de las fallas.
- ✓ Ejecutar un análisis de criticidad como un plan de acción apropiado a falta de mantenimiento.

Capítulo 4: Análisis y Resultados

En este capítulo se indican los resultados del estudio referidos en las fases I, II y III del diseño metodológico planteados en este proyecto. En primera instancia se realiza una evaluación a la entidad con el fin de conocer todo el entorno de trabajo con relación al sistema de distribución del agua potable. Por otra parte, se realiza un análisis de modos y efectos de fallas el cual, nos permite lograr un entendimiento global del sistema. En esta sección del proyecto se busca determinar las diferentes fallas que se puedan ocasionar, para luego enfatizar en las decisiones de cada uno de los parámetros que al final pueden afectar en el sistema. Así mismo con toda la información obtenida en la fase II se establecen el plan de mantenimiento basado en la toma de decisiones de acuerdo a las medidas preventivas.

4.1 Evaluar la efectividad del plan de manteniendo que actualmente implementa la empresa de servicios públicos de acueducto y alcantarillado de Gamarra Cesar EMPUGAM S.A.S.

4.1.1 Funcionamiento de la empresa de servicios públicos EMUGAM S.A.S.

La Empresa de servicios públicos de acueducto y alcantarillado EMPUGAM S.A.S. según datos corroborados por la (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2015) la organización se encuentra identificada con NIT 900761211 – 7 y está constituida desde el 15 de julio de 2014, la información fue reportada en el 2014 por el prestador en el RUPS (Registro Único de Prestadores de Servicios Públicos).

“EMPUGAM S.A.S. es una entidad pública que tiene como misión, la responsabilidad de garantizar de forma integral el agua y el saneamiento básico como elementos comunes de vida y de los derechos humanos fundamentales, generando bienestar y contribuyendo a la sostenibilidad ambiental del territorio”.

En el reporte realizado por la superintendencia se constata que la naturaleza jurídica del prestador corresponde a una sociedad por acciones simplificada que presta los servicios de acueducto y alcantarillado en el área urbana del municipio de Gamarra del departamento de Cesar y que actualmente se encuentra en funcionamiento.

Para las vigencias objeto de análisis, el prestador se encuentra en estado operativo para las actividades inscritas en el RUPS (ver *Tabla 1*), y reporta como fecha de inicio de operaciones el 22 de agosto de 2014. La información correspondiente a la descripción del prestador y a las actividades inscritas en RUPS, fue verificada y validada mediante visita de inspección practicada por profesionales de la Superintendencia el 13 de marzo de 2015.

Tabla 1

Actividades inscritas en RUPS

Servicios	Actividades	Fecha de Inicio
Acueducto	Captación	22/08/2014
	Conducción	
	Almacenamiento	
	Distribución	
Alcantarillado	Comercialización	22/08/2014
	Recolección	
	Conducción	
	Disposición final	
	Tratamiento	

Nota: Evaluación integral de prestadores realizada a la empresa de servicios públicos EMPUAM S.A.S. Fuente: Autor del proyecto, basado en (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2015). Según el servicio se relaciona la actividad a trabajar.

4.1.2 Sistema de bombeo.

El sistema consta de dos cámaras donde yacen las redes de tuberías para la distribución del agua tratada y almacenada. En la primera etapa se dispone de un motor de 60 hp que impulsa una bomba, el cual dirige el agua potable hacia la red de repartición de la zona baja del pueblo; en la segunda etapa se proporciona la distribución utilizando un motor de 30 hp y una ventosa que

ayuda en la liberación de aire que pueda tener la tubería y evitar la cavitación para la zona baja del municipio.

La red principal inicia con una tubería en hierro de 8 in y es empalmada a un tubo de PVC de igual calibre, esta va seguida por tuberías de reducción que van disminuyendo a medida que se hace el reparto del agua, hasta llegar a una tubería de ½ in que son tuberías de acceso domiciliario. La tubería que se dirige a la zona alta del municipio como lo son los barrios de El Prado, San Alonso y Villa Estadio, inician con tuberías de 6 in que se reducen a tuberías de 1 in para ser distribuida a las tuberías de ½ in de los domicilios. Toda la tubería está unida formando una sola malla.

4.1.2.1 Máquina de suministro de la zona baja.



Figura 4. Máquina de suministro de zona baja.

Fuente: Autor del proyecto.

4.1.2.2 Máquina de suministro de la zona alta.



Figura 5. Máquina de suministro de zona alta.

Fuente: Autor del proyecto.

4.1.3 Revisión a los mantenimientos efectuados al sistema de bombeo.

En primera instancia se solicitó toda la información pertinente a la empresa, para realizar el análisis de los respectivos formatos y acciones que se desarrollan dentro de la empresa; se es claro que en la hoja de vida de cada máquina se registra todas aquellas inspecciones y cambios que se le realizan desde la puesta en marcha, y que esta es esencial para llevar un control y registro de cada elemento con los que opera la organización.

En la información solicitada a la empresa, se reporta que no se hicieron registros de los mantenimientos efectuados a las máquinas y que no se cuenta con órdenes de trabajo para todas aquellas acciones de manteniendo que se efectúan, esto es debido a que la organización cambia de todo el personal de trabajo cada que se realizan las elecciones municipales, esta es una problemática que abarca en todo el desempeño de la prestación de servicio ya que no se cuenta con la disposición de mejorar.

Desde la perspectiva de trabajo es claro reconocer que el suministro de agua hacia el municipio es óptimo y de buen servicio, pero hay ocasiones en el que la prestación es suspendida

debido a fallas que se presentan en el sistema, y que no son previstas debido a la falta de una mejor gestión en el plan de mantenimiento preventivo.

4.1.4 Evaluación al plan de mantenimiento.

Se procedió a efectuar la evaluación al departamento de mantenimiento para estimar las falencias y los posibles puntos donde se debe mejorar para tener un mejor desempeño de la organización.

Para esta evaluación se implementó una metodología en cuestiones de autoanálisis propuesta por (González Fernández, 2014), el cual consta de 128 preguntas claves divididas en doce bloques, cada pregunta tiene una valoración entre 0, 10, 20, 30 y 40 puntos, teniendo en cuenta que cada valor va a depender según su trascendencia dentro del campo a analizar.

Cabe resaltar que el autor plantea una muestra de las puntuaciones máximas que posiblemente puedan obtenerse en cualquier organización dentro del bloque a evaluar, y así compararlos con los valores totales obtenidos en el cuestionario. Estos valores serán relacionados por medio de una malla para consolidar la situación actual de la empresa. Al analizar los tramos en la representación gráfica, si la puntuación obtenida en el autoanálisis es superior al 50% de los puntos posibles, este bloque se encuentra en un rango de buen desempeño, al cual toca seguir trabajando para obtener una mejor prestación de los servicios; en el caso contrario si la puntuación es inferior del 50%, “esto nos quiere decir que el campo analizado debe ser objeto de reflexión y una mayor profundización, para mejorar las debilidades y plantear propuestas de mejora, que en el caso sean aportadas por el equipo técnico o predirectivo”.

La evaluación se realizó con el coordinador del departamento de mantenimiento, y estos fueron los resultados obtenidos:

Tabla 2
Evaluación sobre la organización general

A. ORGANIZACIÓN GENERAL.	No	Más bien no	Ni sí Ni no	Más bien si	Si
1. “¿Está definida por escrito y aprobada, la organización y responsabilidades del departamento de mantenimiento?”					40
2. “¿Se comprueban las responsabilidades y las tareas definidas en la organización de forma periódica para su adaptación?”		10			
3. “¿Están las responsabilidades y las tareas de los operarios claramente definidas?”		10			
4. “¿Está suficientemente dimensionada la estructura de la dirección de mantenimiento y su equipo técnico para abordar nuevos procesos de mejora?”		10			
5. “¿Tiene cada sección y/o actividad un presupuesto de funcionamiento y hay seguimientos periódicos de su adecuación a la realidad?”			20		
6. “¿Existe un área para la planificación y coordinación de trabajos y para realizar estudios de mejora y formación?”		10			
7. “¿Existen descripciones de las funciones (en el terreno de responsabilidades y en el de iniciativa) para cada uno de los puestos de ejecución?”			20		
8. “¿El personal de operación tienen instrucciones para llevar a cabo operaciones de mantenimiento de primer nivel y las ejecutan?”				30	
9. “¿Todas las operaciones preventivas y correctivas se ejecutan con órdenes de trabajo y se imputan adecuadamente las actividades y repuestos?”			20		
10. “¿Tienen objetivos claros e indicadores de funcionamiento que sirvan de pauta como resultados del servicio prestado?”		10			
11. “¿Los departamentos de compras o ingenierías tienen en cuenta de forma activa a mantenimiento en nuevos estudios o instalaciones?”		10			
12. “¿Hay reuniones periódicas y se realizan seguimientos de niveles de calidad de servicio percibidos por nuestros clientes?”			20		
A – 280 puntos posibles			Subtotal:		210

Nota: disposiciones a tener en cuenta en la evaluación. Fuente: Autor del proyecto basado en (González Fernández, 2014)

Tabla 3
Evaluación sobre métodos y sistemas de trabajo

B. MÉTODOS Y SISTEMAS DE TRABAJO.	No	Más bien no	Ni sí ni no	Más bien si	Si
1. “¿Disponen de sistema de planificación y preparación de trabajo para intervenciones importantes?”			20		
2. “¿Tienen procedimientos para preparar trabajos, establecer presupuesto y justificar nuevas adquisiciones o proponer nuevas actividades?”			20		
3. “¿Disponen ustedes de métodos operativos escritos para los trabajos complejos o delicados?”		10			
4. “¿Tienen ustedes un procedimiento por escrito (y aplicado) que defina las autorizaciones de trabajo (consignación, desconsignación) para los trabajos que conlleven riesgos?”		10			
5. “¿Se archivan en los expedientes o historiales de equipos y sistemas, los trabajos de preparación y planificación de grandes intervenciones?”			20		
6. “¿Hay acciones que lleven a normalizar los órganos y las unidades?”			20		
7. “¿Tiene ustedes métodos para estimación de tiempos distintos de la estimación global? (trabajos tipos, bloques de tiempos)”			20		
8. “¿Utilizan ustedes el método PERT (u otra gestión parecida) para la preparación de trabajos largos, importantes, o que necesiten mucha coordinación?”		10			
9. “¿Tienen métodos formalizados para hacer las reparaciones y protocolos de pruebas?”			20		
10. “¿Guardan ustedes las unidades en almacén, hacen preparar kits (piezas, herramientas) antes de sus intervenciones?”				30	
11. “¿Está el conjunto de la documentación debidamente clasificada y fácilmente accesible?”			20		
12. “¿Tienen sistemas de priorización de actividades, con base en su criticidad, repercusiones secundarias, etc.?”		10			
B – 270 puntos posibles			Subtotal:	210	

Nota: disposiciones a tener en cuenta en la evaluación. Fuente: Autor del proyecto basado en (González Fernández, 2014)

Tabla 4

Evaluación sobre el control técnico de instalaciones y equipos

C. CONTROL TÉCNICO DE INSTALACIONES Y EQUIPOS.	No	Más bien no	Ni sí ni no	Más bien si	Si
1. “¿Disponen ustedes de una lista recapitulativa (inventario) de ubicación de los equipamientos de su unidad?”		10			
2. “¿Tiene cada equipamiento un número de identificación único diferente del número cronológico de inmovilización?”			20		
3. “¿En su emplazamiento, tiene todo el equipamiento un número de identificación claramente señalado?”		10			
4. “¿Se registran sistemáticamente las modificaciones, instalaciones nuevas o la supresión de equipamientos?”			20		
5. “¿Hay un archivo informático o en papel de cada equipo o instalación, y de sus subgrupos funcionales, con reseñas históricas de todos los trabajos llevados a cabo en cada uno de ellos y su coste?”			20		
6. “¿Tienen efectuados análisis de criticidad de equipos y estudios de averías y modo de fallo (AMEF, RCM, etc.)?”	0				
7. “¿Disponen ustedes de información sobre las horas pasadas, las piezas consumidas y los costes, equipamiento por equipamiento?”			20		
8. “¿Hay uno (o varios) responsables del cuidado de las reseñas históricas de trabajos?”		10			
9. “¿Está asegurado el seguimiento y control formal de las operaciones reglamentarias y de seguridad llevadas a cabo?”		10			
10. “¿Se audita periódicamente la situación de inventario y su documentación?”	0				
11. “¿Tiene constancia formal de la adecuación de su parque de maquinaria y equipos a la directiva de máquinas?”	0				
12. “¿Tiene posibilidad de analizar, sistema a sistema, el coste real de sus ciclos de vida – LCC?”	0				
C – 300 puntos posibles			Subtotal:		120

Nota: disposiciones a tener en cuenta en la evaluación. Fuente: Autor del proyecto basado en (González Fernández, 2014)

Tabla 5
Evaluación sobre la gestión de la carga de trabajo

D. GESTIÓN DE LA CARGA DE TRABAJO.	No	Más bien no	Ni sí ni no	Más bien si	Si
1. “¿Tienen ustedes un programa establecido de mantenimiento preventivo? (acciones preventivas, periódicas, de carga de trabajo)”				30	
2. “¿Disponen ustedes de fichas (o check-lists) escritas de mantenimiento preventivo?”			20		
3. “¿Existe algún responsable del conjunto de las acciones de mantenimiento preventivo (en términos de control y de actualización)?”			20		
4. “¿Tienen los usuarios (u operadores) de los equipamientos responsabilidades en materia de reglaje o ajuste y mantenimiento de rutina?”		10			
5. “¿Tienen ustedes un sistema de registro de las demandas o solicitudes de trabajo?”			20		
6. “¿Hay alguna persona más específicamente responsable de la planificación de los trabajos?”			20		
7. “¿Tiene ustedes reglas definidas que permitan asignar los trabajos según las prioridades?”		10			
8. “¿Conocen ustedes permanentemente la carga de trabajo en cartera y tienen un balance de capacidad?”		10			
9. “¿Existe algún documento que permita informar y seguir toda intervención que se utilice sistemáticamente para todo trabajo?”			20		
10. “¿Se reúnen periódicamente los operarios para debatir las prioridades, problemas de planning, personal, etc.?”				30	
11. “¿Disponen ustedes de un planning semanal (o periódico) de distribución de los trabajos?”			20		
12. “Cuando un trabajo no puede ser abordado con la celeridad que les exige producción, ¿tienen un procedimiento para informar de ello y proponer medidas preventivas?”				30	
D - 300 puntos posibles			Subtotal:	240	

Nota: disposiciones a tener en cuenta en la evaluación. Fuente: Autor del proyecto basado en (González Fernández, 2014)

Tabla 6

Evaluación sobre la compra y logística de repuestos y equipos

E. COMPRA Y LOGÍSTICA DE REPUESTOS Y EQUIPOS.	No	Más bien no	Ni sí ni no	Más bien si	Si
1. “¿Tienen un almacén específico o diferenciado para mantenimiento y un sistema de lanzamiento y seguimiento de pedidos a su medida?”			20		
2. “¿Disponen de un sistema de “libre servicio” para artículos y piezas de consumo habitual?”		10			
3. “¿El stock de repuestos está al día, accesible a su personal de forma informatizada y disponible el valor, número de artículos, plazos, etc.?”				30	
4. “¿Están todas las piezas de repuestos identificadas y codificadas?”		10			
5. “¿Están definidos los sistemas de aprovisionamiento y de lanzamiento de compras por demandas, puntos de pedidos, etc.?”				30	
6. “¿Hay un procedimiento formalizado de solicitud de ofertas, con pliegos adaptados a sus necesidades y adjudicación de pedidos?”		10			
7. “¿Los procedimientos de aprovisionamiento son rápidos y flexibles?”		10			
8. “¿Tiene proveedores concertados que almacenen en sus dependencias los materiales y repuestos de su suministro?”				30	
9. “¿Tienen facilidad y homologados suministradores distintos al propio fabricante del equipamiento o instalación?”				30	
10. “¿Tienen un sistema rápido y eficaz de reparación de equipos y sistemas de inventario?”		10			
11. “¿Hay gran cohesión entre el servicio de compras y de mantenimiento para las decisiones de compra y negociación con los suministradores?”			20		
12. “¿los procedimientos administrativos y operativos para solicitar un repuesto o un traslado son ágiles y “amigables”?”			20		
E – 240 puntos posibles			Subtotal:	230	

Nota: disposiciones a tener en cuenta en la evaluación. Fuente: Autor del proyecto basado en (González Fernández, 2014)

Tabla 7
Evaluación sobre los sistemas informáticos

F. SISTEMAS INFORMÁTICOS.	No	Más bien no	Ni sí ni no	Más bien si	Si
1. “¿Ha participado activamente el departamento de mantenimiento en la especificación técnica y definición de requisitos de su sistema informático?”			20		
2. “¿El sistema es “amigable” a la hora de lanzar ordenes, planificar actividad, controlar recursos, emitir informes, etc.?”			20		
3. “¿Se ha ajustado la aplicación informática implementada a los procedimientos organizativos eficaces ya implantados?”	0				
4. “¿Los operarios, a pie de obra, interactúan con el sistema recogiendo órdenes, cerrando las finalizadas, imputando recursos, etc.?”	0				
5. “¿Su sistema informático “dialoga” adecuadamente con otras aplicaciones corporativas como costes, nominas, etc.?”		10			
6. “¿Desde la implantación de su aplicación informática ha reducido significativamente la carga administrativa de su departamento?”		10			
7. “¿La información que ahora obtiene de su aplicación le ayuda realmente a una más fácil y rigurosa toma de decisiones?”			20		
8. “¿Ha ahorrado personal u optimizado recursos, mejorando su eficiencia de forma contrastada, desde la puesta en marcha de la aplicación informática?”		10			
9. “¿El “hardware” de que dispone en su departamento está suficientemente dimensionado en cuanto a capacidad de proceso, memoria, periféricos, etc.?”	0				
10. “¿La red de comunicaciones de su empresa y otros servicios asociados de voz y datos funciona con la fiabilidad, disponibilidad y prestaciones adecuadas?”	0				
F – 250 puntos posibles.			Subtotal:	90	

Nota: disposiciones a tener en cuenta en la evaluación. Fuente: Autor del proyecto basado en (González Fernández, 2014)

Tabla 8

Evaluación sobre la organización del taller de mantenimiento

G. ORGANIZACIÓN DEL TALLER DE MANTENIMIENTO.	No	Más bien no	Ni sí ni no	Más bien si	Si
1. “¿El espacio que tiene asignado su departamento para actividades de banco, oficina de planificación e ingeniería, almacén, etc., es suficiente?”		10			
2. “¿Dispone a pie de obra de las instrucciones operativas y protocolos para ser consultados por sus mandos y operarios directivos?”		10			
3. “¿Las oficinas de los mandos intermedios y supervisores se encuentran a pie de obra?”	0				
4. ¿Se encuentra bien ubicado el almacén de herramientas y repuestos?”			20		
5. “¿Disponen de suficiente utillaje y medios de manutención y transporte adecuado a sus trabajos preventivos y correctivos?”			20		
6. “¿Las órdenes de trabajo se abren y cierran a pie de obra, con terminales ubicados en la planta o con terminales portátiles?”		10			
7. “¿Las zonas destinadas a materiales útiles, a averiados y de envío o recepción exterior están correctamente identificadas y delimitadas?”	0				
8. “¿Hay un responsable de logística, de la custodia de herramientas y útiles y de la verificación y calibración periódica de ellas?”	0				
G – 160 puntos posibles			Subtotal:	70	

Nota: disposiciones a tener en cuenta en la evaluación. Fuente: Autor del proyecto basado en (González Fernández, 2014)

Tabla 9
Evaluación sobre las herramientas y medios de prueba

H. HERRAMIENTAS Y MEDIOS DE PRUEBA.	No	Más bien no	Ni sí ni no	Más bien si	Si
1. “¿Dispone de un inventario documentado y actualizado de herramientas y equipos de pruebas?”			20		
2. “¿Dispone su departamento, en propiedad o con accesibilidad inmediata, de las herramientas especiales y equipamientos que precisan?”	0				
3. “¿Está correctamente definido el procedimiento de verificación y calibración de herramientas especiales y útiles?”		10			
4. “¿Dispone de proceso de puesta a disposición o bono de responsabilización de herramientas para el caso de que estas se utilicen por contratistas?”			20		
5. “¿Cada operario dispone de una caja de herramientas personal?”	0				
6. “¿Existen verificaciones periódicas de puesta en conformidad de máquinas y herramientas, nuevas, usadas o modificadas por ustedes?”			20		
7. “¿Cuándo necesitan un medio extraordinario de manutención o transporte, lo disponen con las características y celeridad precisa?”			20		
8. “¿La logística, contratación y gestión de nuevas herramientas y medios es realizada directamente por ustedes?”		10			
	H – 170 puntos posibles		Subtotal:	100	

Nota: disposiciones a tener en cuenta en la evaluación. Fuente: Autor del proyecto basado en (González Fernándaz, 2014)

Tabla 10
Evaluación sobre la documentación técnica

I. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA.	No	Más bien no	Ni sí ni no	Más bien si	Si
1. “¿Disponen ustedes de documentación técnica general suficiente: mecánica de construcción, electricidad, código de entorno y nocividad, regulaciones?”			20		
2. “¿Disponen ustedes de planos de conjuntos y los esquemas necesarios?”	0				
3. “¿Están disponible las instrucciones técnicas de utilización y mantenimiento, así como las listas de las piezas sueltas para equipamiento de mayor emergencia?”			20		
4. “¿Son fácilmente obtenibles y utilizables (en español) los planos de las instalaciones?”			20		
5. “¿Se ponen al día los planos y los esquemas a medida que se aportan las modificaciones?”			20		
6. “¿Se registran los trabajos de modificación de los equipamientos y se archivan los expedientes de preparación correspondiente?”	0				
7. “¿Son fácilmente obtenibles los contratos de mantenimiento (constructores o contratas?”		10			
8. “¿Son suficientes los medios de reprografía?”			20		
I – 190 puntos posibles.			Subtotal:		110

Nota: disposiciones a tener en cuenta en la evaluación. Fuente: Autor del proyecto basado en (González Fernández, 2014)

Tabla 11
Evaluación sobre el personal y formación

J. PERSONAL Y FORMACIÓN.	No	Más bien no	Ni sí ni no	Más bien si	Si
1. “¿El ambiente de trabajo es en general positivo?”					40
2. “¿Dirigen y supervisan correctamente los mandos intermedios los trabajos efectuados por los operarios bajo su responsabilidad?”				30	
3. “¿Se examinan en grupo los problemas a menudo, incluyendo también a los operarios?”			20		
4. “¿Se llevan a cabo encuentros periódicos de apreciación entre el personal directivo y el operativo?”		10			
5. “¿Los mandos intermedios y los operarios están lo suficientemente disponibles?”				30	
6. “¿Consideran ustedes en general que la formación técnica de su personal es satisfactoria?”				30	
7. “En el trabajo diario ¿estiman ustedes que el personal tiene la iniciativa necesaria?”			20		
8. “¿Sus mandos intermedios aseguran de forma regular el perfeccionamiento del personal en materias técnicas?”				30	
9. “¿Reciben sus mandos intermedios formación en nuevas tecnologías gracias a estancias, o visitas a otras empresas?”	0				
10. “¿Recibe su personal formación en seguridad y prevención de accidente de forma regular?”	0				
11. “¿Programa y domina la formación del personal el servicio de mantenimiento?”			20		
12. “¿Se sigue rigurosamente la cualificación y la habilitación del personal?”				30	
13. “¿Tienen ustedes pérdidas importantes de tiempo productivo debido a retrasos, ausencias?”			20		
14. “¿Son buenas las relaciones del personal con los agentes de producción?”				30	
J – 370 puntos posibles.			Subtotal:	310	

Nota: disposiciones a tener en cuenta en la evaluación. Fuente: Autor del proyecto basado en (González Fernández, 2014)

Tabla 12
Evaluación sobre la contratación

K. CONTRATACIÓN.	No	Más bien no	Ni sí ni no	Más bien si	Si
✓ “¿Tienen ustedes un proceso de evaluación formal de los contratistas?”	0				
✓ “¿Se elaboran cuidadosamente los documentos descriptivos de los trabajadores y los pliegos de condiciones?”				30	
✓ “¿La selección de los contratistas se lleva a cabo según criterios de técnica y de competencia?”	0				
✓ “Desde el punto de vista de ubicación ¿tienen ustedes acceso a muchas empresas de contratación para las áreas que les interesan?”	0				
✓ “¿Contratan ustedes las tareas para las que consideran no disponen de suficientes técnicos?”				30	
✓ “¿Incluyen en sus contratos con las empresas contratistas cláusulas de resultados?”	0				
✓ “¿Desarrollan ustedes una garantía de calidad y la colaboración con los contratistas?”	0				
✓ “¿Crean ustedes y ponen al día un expediente por asunto, según un procedimiento de constitución predeterminedada?”				20	
✓ “El control de los trabajos de los contratistas y la recepción de estos ¿las lleva a cabo una persona de su servicio, especialmente designada y según procedimientos rigurosos?”	0				
✓ “¿Disponen ustedes de documentación específica para que empresas externas lleven a cabo el mantenimiento de sus equipos?”				20	
K – 280 puntos posibles.				Subtotal:	100

Nota: disposiciones a tener en cuenta en la evaluación. Fuente: Autor del proyecto basado en (González Fernández, 2014)

Tabla 13
Evaluación sobre el control de la actividad

L. CONTROL DE LA ACTIVIDAD.	No	Más bien no	Ni sí ni no	Más bien si	Si
1. “¿Disponen de un cuadro de mando integral (CMI) y de un balance continuo correctivo-preventivo que le permita decidir qué acciones acometer y asignar o cambiar prioridades?”		10			
2. “¿Se dan informes regulares del control de las horas, los costes de mano de obra y repuestos?”		10			
3. “¿Se siguen las especificaciones técnicas del servicio?”			20		
4. “¿se controla la eficacia, grado de saturación y tiempos muertos del potencial de mantenimiento?”		10			
5. “¿Dominan ustedes su carga de trabajo?”				30	
6. “¿Disponen ustedes de los costes de mantenimiento, equipamiento por equipamiento?”				30	
7. “¿Tienen posibilidad de cruzar costes por tipo de mantenimiento, por equipamiento o sistema y por secciones?”			20		
8. “¿Disponen ustedes de informes de síntesis en un plazo suficientemente corto?”		10			
9. “¿Emiten ustedes de forma regular un informe de la actividad?”			20		
10. “¿Tienen autonomía a la hora de negociar nuevas actividades, mejorar rendimientos, cambiar procesos y periodicidades, etc.?”			20		
		L – 280 puntos posibles		Subtotal:	180

Nota: disposiciones a tener en cuenta en la evaluación. Fuente: Autor del proyecto basado en (González Fernández, 2014)

En cada uno de los bloques se puede notar que las puntuaciones no son tan elevadas, pero se puede destacar que hay elementos que dentro de la organización están abordados de una mejor manera y estos ayudan a generar una nueva perspectiva a cada campo evaluado.

Realizar este tipo de procesos es muy conveniente, ya que permite plantear mejores conclusiones y propuestas a la organización, además porque es un método extremadamente simple y autoexplicativo, que puede servirnos como un panel de control ante la necesidad de indicadores matematizables y totalmente medibles. Por consiguiente, después del autoanálisis se realizó la malla, donde cada uno de los doce bloques temáticos abordados se encuentra separados a 30°, y en él se indican los valores obtenidos en los cuestionarios de cada bloque.

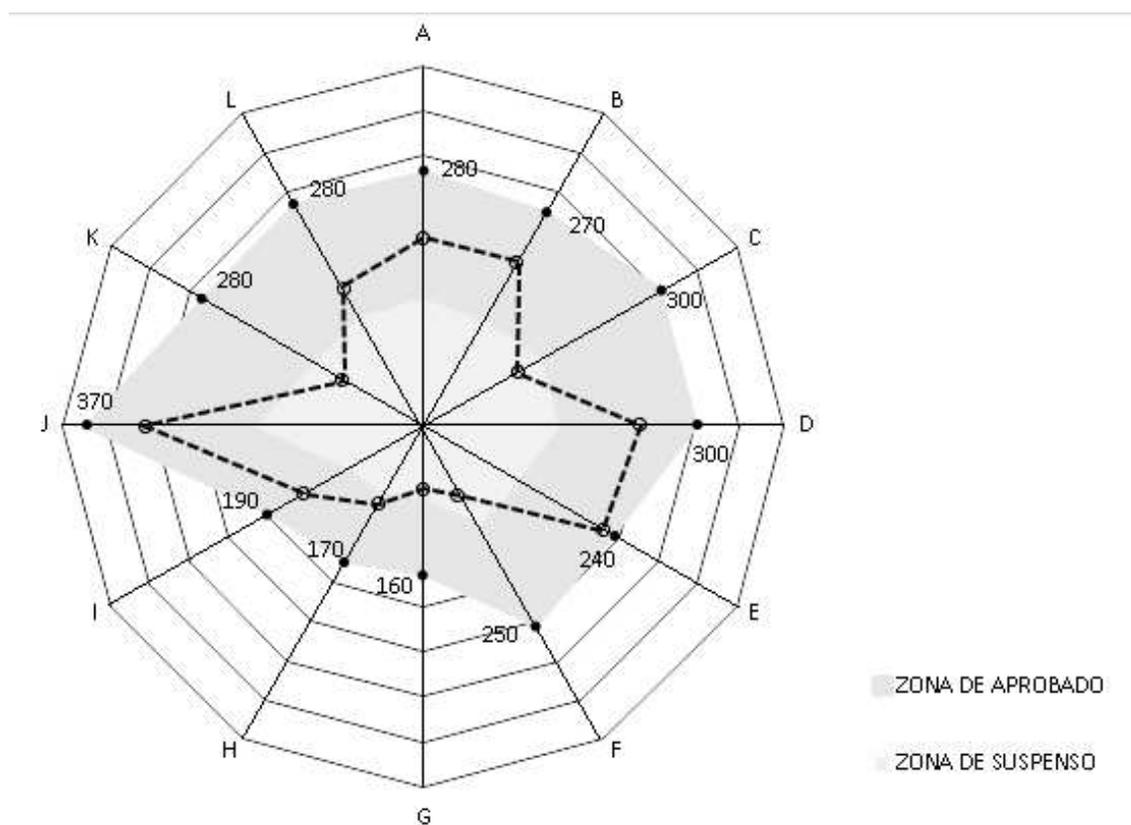


Figura 6. Malla de autoanálisis.

Fuente: autor del proyecto.

En la figura 2 se puede evidenciar que los bloques más débiles dentro de la organización fueron C, F, G y K, en los cuales la empresa debe abordar diversas acciones y actividades para logra mejorar las falencias que se originan en cada campo y replantear nuevas metodologías para fortalecer los otros bloques tratados.

Con respecto a los controles técnicos de instalación y equipos (C) se puede percibir que los procesos abordados en este campo carecen de un seguimiento y control formal de las operaciones reglamentarias, que pueden ser abarcados por metodologías como lo son análisis de criticidad, RCM, entre otros, que son procesos que no se llevan a cabo en el contexto operativo actual, por consiguiente esto se ve reflejado en la falta de análisis del coste real del ciclo de vida de los equipos.

Por otro lado, los sistemas informáticos (F) actualmente dentro de la empresa no son abarcados con gran capacidad, debido a que este no está dimensionado con la fiabilidad, disposición y prestación del servicio para que se desarrolle un mejor procedimiento organizativo eficaz. La empresa aborda temáticas desde la plataforma de Excel, donde se digitaliza los respectivos seguimientos que se llevan a cabo, además estos sistemas exceden en la carga de trabajo ya que no recoge en su totalidad lo deseado por el sector productivo.

Con relación a la organización del taller de mantenimiento (G) es notorio que la empresa no dispone del espacio adecuado para las actividades de banco, almacenamiento, planificación e ingeniería, debido a que las zonas destinadas a materiales útiles o averiados no están correctamente identificadas y delimitadas. Este tipo de eventos se pueden ver afectados debido a no hay un responsable logístico que se encargue de la custodia y recepción de herramientas, acompañados de las instrucciones operativas y protocolos llevados a cabo en la empresa.

Por último, el bloque de contrataciones llevadas dentro de la empresa no está regulada por un proceso evaluativo, debido a que la organización esta comandada por el orden político municipal, evitando la selección de personal calificado que ayuden a generar un mejor desarrollo sostenible a la entidad; también se evidencia que la compañía no tiene acceso a muchas empresas

con las que se puedan generar contratación, lo cual no ayuda a fortalecer el crecimiento para brindar una mejor calidad del servicio.

4.1.5 Revisión de formatos de mantenimiento.

Dentro de los procesos coordinados en el plan de mantenimiento preventivo, la empresa no lleva a cabo el respectivo seguimiento de todas las actividades planteadas para el desarrollo sostenible de organización, además los procedimientos no son registrados en los formatos adecuados que ayuden a llevar un orden y control de todo lo que se realiza a cada uno de los equipos. Por consiguiente, se procedió a realizar cada uno de los formatos que ayuden a codificar todas aquellas acciones que se desarrollen en la entidad.

Las fichas técnicas se utilizaran para registra todas las características principales e información de la máquina que se debe conocer a través de sus placas y la recolección de la información en los catálogos, como son modelo, marca, peso, tamaño, servicios, entre otros. La importancia de este documento radica en que ayuda a transmitir los datos más relevantes sobre la máquina, en información resumida y de útil finalidad.

	EMPUGAM S.A.S.			
	DEPARTAMENTO DE MANTENIENDO.			
	TARJETA MAESTRA			
	FORMATO: N° 01	CÓDIGO: TM01	VERSIÓN: 01,2021	TM N°
DATOS GENERALES				
EQUIPO:		CÓDIGO DEL EQUIPO:		
MODELO:	MARCA:	PESO:		
		ALTURA:		
JORNADA LABORAL:	INTERMITENTE:			
HOJA DE VIDA:	CATÁLOGO:	FECHA DE INSTALACIÓN:		
DATOS DEL FABRICANTE Y/O REPRESENTANTE				
NOMBRE:	TELÉFONO:	DIRECCIÓN:		
CIUDAD:	CORREO ELECTRÓNICO:	OTROS DATOS:		
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS				
VOLTAJE:	CORRIENTE:	POTENCIA:		
RPM:	ARMAZÓN:	PAR:		
RENDIMIENTO		FACTOR DE POTENCIA %		
OBSERVACIONES:				

Figura 7. Ficha técnica de maquinaria.

Fuente: Autor del proyecto.

En las ordenes de trabajo se registrara toda la información necesaria para facilitar la programación y planeación de las acciones realizadas en el mantenimiento, este tipo de documento deben brindar información detallada para así poder asignar acciones, definir personal, utilizar apropiadamente los recursos con el fin de controlar la calidad en el desarrollo de los procedimientos.

	EMPUGAM S.A.S.			
	DEPARTAMENTO DE MANTENIENDO.			
	ORDEN DE TRABAJO.			
	FORMATO N° 02	CÓDIGO: OT02	VERSIÓN: 01,2021	OT N°
FECHA de recepción:		HORA de recepción:		
FECHA de entrega:		HORA de entrega:		
ACTIVIDAD:				
TIPO DE MANTENIMIENTO.				
Correctivo: ()	Preventivo: ()	Predictivo: ()	Emergente: ()	
DATOS.				
EQUIPO:		CÓDIGO DEL EQUIPO:		
MODELO:		MARCA:		
HV N°	TM N°	Trabajo Interno: ()	Dotación del personal:	
PROBLEMAS A INSPECCIONAR.			TIEMPO ASIGNADO.	
TRABAJOS A REALIZAR.			Calibrado.	Reparado.
OBSERVACIONES				
Firma Coordinador Operativo			Firma Mecánico	

Figura 8. Orden de trabajo.

Fuete: Autor del proyecto.

En las hojas de vida de una maquina se realizara un recuento de identificación, ya que en ella se registra toda la información del historial de mantenimiento que se le ha realizado, ya sea preventivo o correctivo garantizando una forma correcta del inventario del equipo.

		EMPUGAM S.A.S.				
		DEPARTAMENTO DE MANTENIENDO.				
		HOJA DE VIDA				
		FORMATO: N° 03	CÓDIGO: HV03	VERSIÓN: 01,2021	HV N°	
EQUIPO:			CÓDIGO DEL EQUIPO:			
MODELO:		MARCA:		FECHA DE PUESTA EN MARCHA:		
UBICACIÓN:			TM N°			
HISTORIAL DE LA MAQUINA						
Fecha de Inicio	Código de Instructivo	Acciones de Mantenimiento	Mantenimiento		Fecha de Terminación	Operador
			Preventivo	Correctivo		
OBSERVACIONES						

Figura 9. Hoja de vida.

Fuente: Autor del proyecto.

En los instructivos se plasmaran aquellas acciones y actividades de mantenimiento que se le deben practicar a la máquina para que no falle, la información aquí brindada se puede encontrar en catálogos o por el personal que esté involucrado en el procediendo que se realice; este tipo de documento funciona como bitácora para los operarios, ya que orienta y direcciona en el desarrollo y ejecución del mantenimiento.

	EMPUGAM S.A.S.		
	DEPARTAMENTO DE MANTENIENDO.		
	INSTRUCTIVO.		
	FORMATO N° 04	CÓDIGO: I04	VERSIÓN: 01,2021
EQUIPO:	CÓDIGO DEL EQUIPO:		
ACTIVIDAD:			
TIEMPO ESTIMADO DE EJECUCIÓN			
PERSONAL ENCARGADO			
JEFE DE MANTENIMIENTO:		FIRMA	
SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO:		FIRMA	
TÉCNICO DE MANTENIMIENTO:		FIRMA	
EQUIPOS NECESARIOS			
PROCEDIMIENTO			
OBSERVACIONES			

Figura 10. Instructivo.

Fuente: Autor del proyecto.

El test de corrección de fallas y averías, ayudara a realizar inspecciones a máquina o equipo para ver si el estado en que se encuentra es acto o no; por consiguiente facilitara en las acciones de las actividades mantenimiento que se plasmaran en el plan de mantenimiento a desarrollar.

	EMPUGAM S.A.S.				
	DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO				
	TEST - CORRECCION DE FALLAS Y AVERIAS				
	FORMATO Nº 05		CODIGO: TEST05		VERSION: 01,2021
TIPO DE MANTENIMIENTO			EQUIPO:		
PREVENTIVO ()		CORRECTIVO ()		FECHA:	
				HORA:	
ESTADO					
ELEMENTOS DE ENSAMBLE	ESTADO		ELEMENTOS DE ENSAMBLE	ESTADDO	
	APTO	NO APTO		APTO	NO APTO
Escudo lado D			Tapa del ventilador, plástica		
Tapa de rodamiento, lado D exterior.			Tapa de ventilador, chapa de acero		
Tapa de rodamiento, lado D interior.			Tapa de ventilador con sombrerete		
Muelle de disco/arandela ondulada, lado D			cáncamo		
Rodamiento, lado D			tapa de la caja de bornes		
Anillo V, lado D			junta base de la caja de bornes		
Brida			placa de bornes		
Anillo de fieltro, lado D			prensa cable		
Escudo , lado N			tapón		
Tapa de rodamiento, lado N exterior			entrada de cable para protección terminal de bobinado		
Tapa de rodamiento, lado N interior			borne para protección técnica de bobinado		
Rodamiento, lado N			collarín		
Anillo V, lado N			obturadores		
Arandela ondulada, lado D (a lado N)			placa intermedia		
Anillo de fieltro, lado N			caja de bornes plana		
1 juego de patas de motor			bolsa para normas		
Ventilador			rotor completo		
OBSERVACIONES					
firma de jefe de mantenimiento			operario de apoyo		

Figura 11. Test de corrección de fallas y averías.

Fuete: Autor del proyecto.

4.2 Realizar un Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) que permita establecer el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), aplicando el software iRCM

En el desarrollo de esta sección se establece el análisis de modos y efectos de fallas, siendo este de gran importancia en el proceso debido a que permite identificar las fallas potenciales, los efectos que trae consigo y el impacto que puede ocasionar al sistema en cuestión, toda la información registrada es útil para priorizar las actividades de mantenimiento que se establecen después de completado el análisis.

Debido a la falta de un registro completo y adecuado del historial de causas de fallas en los equipos y las acciones ejecutadas para corregirlas, se tiene en cuenta el estudio realizado en la literatura, lo cual ayuda a comprender e identificar las posibles consideraciones que aporten un mejor desarrollo del análisis en cuestión.

En primera instancia se definen las características técnicas, operaciones y ambientales de cada uno de los equipos a analizar, estas consideraciones están especificadas en las fichas técnicas de los *Apéndices 1 y Apéndice 2*.

Luego de conocer las especificaciones de cada equipo, se determinan los parámetros del sistema a partir del funcionamiento que los equipos desempeñan dentro de la empresa; se conoce que el sistema de bombeo o de distribución dispone de dos motores eléctricos y dos bombas centrífugas, los cuales cumplen la misma función. (Los motores transmiten energía a las bombas y las bombas la transmiten al fluido).

A continuación se presenta las condiciones de fronteras con las que se ejecutan los equipos, con el objeto de conocer la interacción que existe entre el producto y el elemento de su entorno, trazando una línea entre ambos.

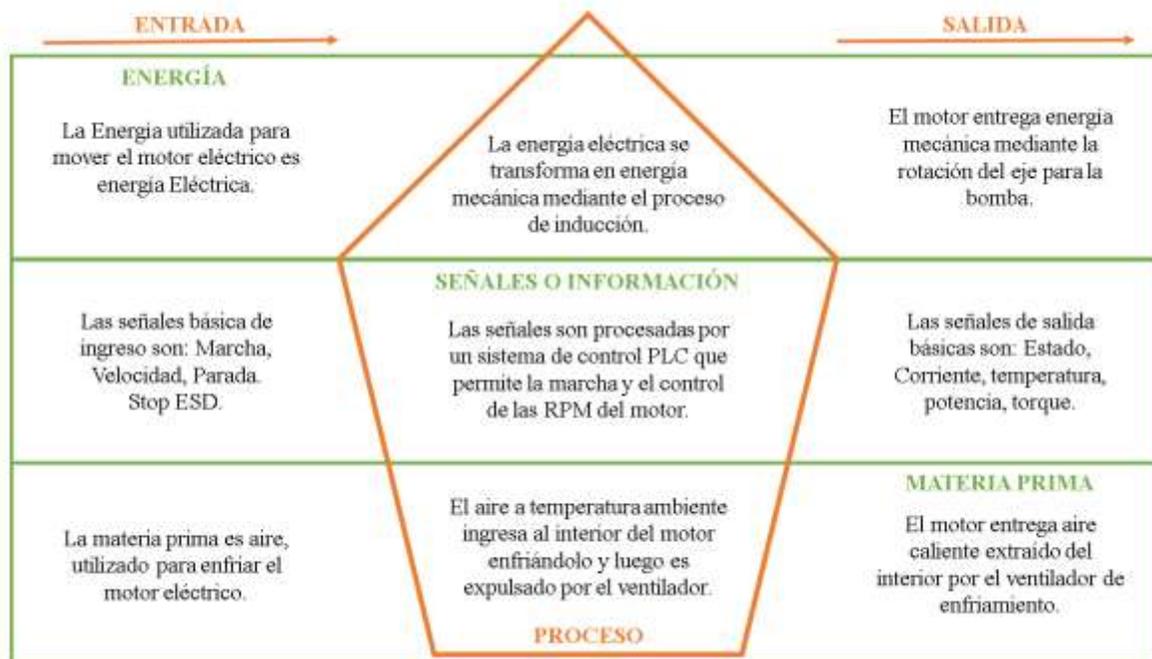


Figura 12. Diagrama de fronteras de los motores eléctricos.

Fuente: autor del proyecto.

Las condiciones o definiciones a tener en cuenta dentro del diagrama son:

- ✓ El tipo de energía con que el dispositivo cumple su función.
- ✓ Las señales o información con las que se realiza el proceso dentro del sistema.
- ✓ La materia prima con la que opera para que el funcionamiento del equipo sea óptimo y tenga buen rendimiento.

Estos parámetros intervienen dentro del proceso, para suministrar el agua potable a las redes de distribución del municipio, con el objetivo principal de identificar tanto las fronteras de nuestro sistema como las interacciones que cada dispositivo tienen entre sí.

Por otro lado las definiciones van acompañadas de una ruta de cómo se efectúa el proceso, es decir como ocurre desde su entrada al sistema hasta su salida y que transformación o parámetro trasciende para que el proceso cumpla su función.

En la *figura 11* y *figura 12* se representan los parámetros de fronteras de los dispositivos en cuestión dentro del sistema de bombea, donde se registra las definiciones que se deben tener en cuenta para que el sistema opere en óptimas condiciones.



Figura 13. Diagrama de fronteras de las bombas centrífugas.

Fuente: autor del proyecto.

Luego de conocer las condiciones de frontera, se inicia el proceso de análisis de modos y efectos de fallas para dar respuestas a las primeras cuatro preguntas de RCM. Dentro de este proceso se vinculan una lista de los efectos de las fallas que describen lo que pasa cuando ocurre cada modo de falla. Estas descripciones deben incluir toda la información necesaria para apoyar la evaluación de las consecuencias de la falla, tales como: ¿Qué evidencia hay, que la falla ha ocurrido?

4.2.1 Sistemas y subsistemas a evaluar.

Para esta etapa del proyecto conocer el sistema y los subsistemas con los que opera la red de suministro es de vital importancia, debido a que se desarrolla una amplia visión de todos los componentes que interactúan dentro del proceso y como estos se ejecutan.

Como se ha dicho durante el desarrollo del proyecto, el entorno a evaluar es el sistema de bombeo de agua, en el cual los equipos que lo componen, desempeñan la función de suministrar el agua tratada a las redes de distribución del municipio, con un caudal de 214 litros por minutos, este sistema está constituido por dos motores eléctricos y dos bombas centrifugas.

Cabe resaltar que estos sistemas “son los más utilizados por su alto rendimiento para optimizar los métodos de abastecimiento de agua en zonas rurales y urbanas, debido a que son procesos motorizados por energía eléctrica para elevar y extraer agua de un punto bajo a uno elevado. También es importante reconocer que este tipo de tecnología requiere de conocimientos técnicos para definir el tipo de instalación, operación y mantenimiento, así como de recursos económicos”.

El proceso de identificación, inicia en el software iRCMS plasmando la información correspondiente al equipo en el Hardware Breakdown, el cual es una división lógica de cada equipo en elementos más pequeños que lo componen para decrementar la complejidad del activo, esta descomposición va desde el más alto al más bajo nivel (solo lo necesario).

En el contexto operativo los motores son los encargados de producir la energía al sistema, cada motor dispone de potencias diferentes debido a que las zonas a las que se les suministra el servicio se encuentra a diferente escala, es decir se dispone de un motor de 60 HP para la red de zona baja y uno de 30 HP para la red de la zona alta.

Hardware Breakdown	
 SB01 Motor electrico.	
 SB01 Bomba Centrífuga.	
Item - SB01	
Item ID:	SB01
Item Name:	Motor electrico.
Item Description:	encargados de producir la energía necesaria para mover las bombas mediante el proceso de inducción.
Item ID Code:	SB01-01
Number of Items in operation:	4
Part Number:	TM001 - TM003
Item Design Life:	24000
	A - Operating Hours
Alternate Application:	0
Status:	Approved
Effectivity:	Sistema de Bombeo.
Analyst:	Rincón Quintero, Javier
Approved by:	Rivera Diaz, Jose
Reviewed by:	Espinel Blanco, Edwin
	Save Continue Cancel Memo

Figura 14. Subsistema – Motor eléctrico.

Fuente: autor del proyecto.

En la figura 14 y figura 15 se muestra toda la información necesaria del equipo a evaluar, debido a que es importante identificar que componente se está analizando, para así tener una mejor claridad de lo que se desea obtener. Aquí se tienen en cuenta el código de registro, estudio de vida del equipo, si hay aplicaciones alternas a tener en cuenta, estado de evacuación, entre otras.

El sistema analizado se identifica en el apartado efectividad (Effectivity), debido que para el software este campo determina el grupo de elementos a los cuales se evaluará el equipo (funciones, fallas funcionales y modos de fallas); por otro lado el subsistema es registrado en el campo Item name que para el software es el nombre del equipo.

Las bombas centrífugas son las encargadas de transmitirle la energía al fluido a través del eje mediante el proceso de energía hidráulica; en el sistema se dispone de una bomba de 60 HP y una de 30 HP respectivamente para cada una de las zonas.

Hardware Breakdown	
SB01 Motor electrico. SB01 Bomba Centrífuga.	
Item - SB01	
Item ID:	SB01
Item Name:	Bomba Centrífuga.
Item Description:	Suministrar el agua tratada a las redes de distribución del municipio con un caudal de 214 litros por minutos.
Item ID Code:	SB01-02
Number of Items in operation:	4
Part Number:	TM002 - TM004
Item Design Life:	24000 A - Operating Hours
Alternate Application:	0
Status:	Approved
Effectivity:	sistema de Bombeo.
Analyst:	Rincón Quintero, Javier
Approved by:	Rivera Diaz, Jose
Reviewed by:	Espinel Blanco, Edwin
<input type="button" value="Save"/> <input type="button" value="Continue"/> <input type="button" value="Cancel"/> <input type="button" value="Memo"/>	

Figura 15. Subsistema – Bomba centrífuga.

Fuente: autor del proyecto.

Actualmente se utilizan los sistemas de bombeo motorizados, para aumentar el abastecimiento de agua en zonas de alto nivel, por lo que se ha buscado incrementar los avances de diseño y desempeño de los equipos, para mejorar el aprovisionamiento de agua conforme al crecimiento de la población y las necesidades que se presentan al suministrar el servicio, por lo tanto es importante conocer el caudal de agua que se precisa bombear y las pérdidas de carga asociadas a la conducción, donde intervienen factores como el material de la tubería, el número de codos y accesorios, la altura a abastecer o la longitud a proyectar.

“Las condiciones anteriores varían en cuanto a costos, tipos de usos y desempeño, criterios de operación y mantenimiento y aspectos sociales, por lo que se tiene que adaptar a las condiciones locales, para evitar así problemas en la operación. Por eso es importante tener claro lo que aporta y en que desfavorece el sistema, ya que su instalación, operación y mantenimiento tienen costos elevados, requieren altos niveles de conocimientos técnicos, así como disponibilidad de combustible, lubricantes y refacciones”.

Tabla 14
Ventajas y desventajas de los sistemas de bombeos

Ventajas	Desventaja
“Alto rendimiento: capacidad de descarga suficiente para satisfacer los requisitos de agua en diferentes contextos”.	“Altos costos en la adquisición, operación (combustible o electricidad) y mantenimiento (repuestos y consumibles)”.
“Con un tanque de almacenaje se garantiza el líquido donde no hay continuidad de suministro de energía”.	“Se requiere de un técnico calificado para garantizar la operación y mantenimiento”.
“Operación independiente en comunidades aisladas o dispersas (sistemas eólicos, solares o de combustible)”.	“El alto rendimiento ocasiona el uso excesivo de agua que puede generar escasez en la fuente de abastecimiento”.
“Menos esfuerzo de trabajo físico y tiempo empleado para la actividad”.	“Los sistemas de combustible pueden producir humos y ruidos dañinos para la salud y pueden contaminar las aguas subterráneas y el medio ambiente”.
“Acceso rápido al agua potable”.	“Requiere de mantenimiento frecuente para la operación adecuada”.
“Bajo riesgo de contaminación durante el transporte”.	

Nota: se presenta una retrospectiva de aquellas ventajas y desventajas que intervienen en cualquier proceso durante un sistema de distribución. Fuente: tomado de (Rodríguez, 2018)

4.2.2 funciones del sistema en el contexto operativo.

El proceso de análisis de modos y efectos de fallas, inicia identificando las funciones del equipo que componen el sistema. Con esto se puede decir que cada elemento que constituye el

proceso debe haberse adquirido para unos propósitos determinados, es decir deberá tener una función o funciones específicas.

En la *figura 16* y *figura 17* se muestra las funciones que efectúan cada dispositivo en su contexto operativo presente, los cuales son evaluados conociendo sus estándares de desempeño, estas funciones son clasificadas en dos categorías (primarias y secundarias).

FMECA & RCM Information

SB01 Motor electrico.

- + 0 Girar el eje de la bomba centrífuga a una velocidad
- + 1 Sostener la velocidad rotacional de la bomba entre

Function - SB01 - 0

Item ID: SB01

Function ID:

Function Description:

Functional Significance Determination		Yes	No
1. Does loss of the function have an adverse effect on safety or environment?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2. Does loss of the function have an adverse effect on operations?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3. Does loss of the function have an adverse economical impact?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4. Is this function protected by an existing PM task?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Effectivity:

Analyst: Status:

Approved by:

Reviewed by:

Figura 16. Funciones – Motor eléctrico.

Fuente: Autor del proyecto.

Con lo anterior se puede aludir que las funciones primarias se presentan como aquellas que sintetizan el objeto por el cual fue adquirido el activo, y las funciones secundarias como aquellas que indican lo que se quiere que el bien produzca.

En este proyecto se analizan cuatros dispositivos los cuales realizan las mismas funciones, estas funciones se registra en el panel FMECA & RCM information dando clip derecho sobre el

equipo al que queremos asignar la función, de manera que son identificadas en el software por un número (Function ID), las funciones primarias se identifican con el número 0 y las secundarias con los indicativos 1, 2, 3... esto llegado el caso de que el sistema realice otras funciones en el contexto operativo.

FMECA & RCM Information	
SB01 Bomba Centrífuga.	
<ul style="list-style-type: none"> + 0 Bompear el agua tratada a las redes de distribucion + 1 Transportar el agua en toda la red de distribucion 	
Function - SB01 - 0	
Item ID:	SB01
Function ID:	0
Function Description:	Bompear el agua tratada a las redes de distribucion del municipio con un caudal de 214 Lt/Seg. a temperatura ambiente.
Functional Significance Determination	
	Yes No
1. Does loss of the function have an adverse effect on safety or environment?	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
2. Does loss of the function have an adverse effect on operations?	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3. Does loss of the function have an adverse economical impact?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
4. Is this function protected by an existing PM task?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Effectivity:	Sistema de Bombeo.
Analyst:	Rincón Quintero, Javier
Status:	Approved
Approved by:	Rivera Diaz, Jose
Reviewed by:	Espinel Blanco, Edwin

Figura 17. Funciones – Bomba centrífuga.

Fuente: Autor del proyecto.

Por otro lado el software permite determinar la idea o importancia funcional en las cuales sus fallas puedan llegar a resultar con algún impacto adverso con respecto a la seguridad, el medio ambiente, las operaciones o la economía.

4.2.3 fallas funcionales y fallos técnicos.

Luego de identificar las funciones de operación de cada equipo, se procede a determinar la razón por el cual el activo es incapaz de cumplir con su función, a esto se le conoce como fallo.

Cada falla se puede originar debido a un mal diseño o errores de cálculos, defectos de fabricación, mal uso de las instalaciones, maquinas o equipos, desgaste natural o envejecimiento por el uso, fenómenos naturales u otros factores.

The screenshot displays the 'FMECA & RCM Information' interface. At the top, a tree view shows the hierarchy: 'SB01 Motor eléctrico.' expanded to show function '0 Girar el eje de la bomba centrífuga a una velocidad', which includes failures 'A El motor no gira.' and 'B Temperatura del motor supera los 40°C.', and function '1 Sostener la velocidad rotacional de la bomba entre', which includes failure 'A El motor no sostiene o no supera las 1500 RPM.' Below this, a detailed window titled 'Functional Failure - SB01 - 0A' is open, showing the following fields:

- Item ID: SB01
- Function ID: 0
- Function: Girar el eje de la bomba centrífuga a una velocidad entre 1500 y 1800 RPM, con una temperatura promedio de 40°C y una corriente máxima de 440 v.
- Functional Failure ID: A
- Functional Failure Description: El motor no gira.
- Compensating Provisions:
- Effectivity: Sistema de Bombeo.
- Analyst: Rincón Quintero, Javier
- Status: Approved
- Approved by: Rivera Diaz, Jose
- Reviewed by: Espinel Blanco, Edwin

Figura 18. Fallas Funcionales – Motor eléctrico.

Fuente: Autor del proyecto.

La figura 18 y figura 19 enfatizan en aquellas fallas funcionales por la cual el activo no realiza la función para el que fue adquirido. La información se registra en el panel FMECA & RCM information haciendo click derecho sobre la función a la que queremos agregar la falla, es así como el software permite asignar un indicativo, que en este caso es un carácter alfanumérico que únicamente identifique la falla funcional. En estos apartados se evalúa las fallas que afectan a la producción, fallas que afectan a la calidad del producto, fallas que comprometen la seguridad de las personas y fallas que degradan el ambiente.

FMECA & RCM Information	
SB01 Bomba Centrífuga.	
0	Bompear el agua tratada a las redes de distribucion
+	A No bombea agua.
+	B Bombea agua a un caudal menor de 214 Lt/Seg.
+	C Fuga de agua por sello mecanico.
1	Transportar el agua en toda la red de distribucion
+	A No transporta el agua tratada por que el impulsor
+	B Perdida de potencia del motor.

Funcional Failure - SB01 - QA	
Item ID:	SB01
Function ID:	0
Function Description:	Bompear el agua tratada a las redes de distribucion del municipio con un caudal de 214 Lt/Seg. a temperatura ambiente.
Functional Failure ID:	A
Functional Failure Description:	No bombea agua.
Compensating Provisions:
Effectivity:	Sistema de Bombeo.
Analyst:	Rincón Quintero, Javier
Status:	Approved
Approved by:	Rivera Diaz, Jose
Reviewed by:	Espinel Blanco, Edwin

Figura 19. Fallas Funcionales – Bomba Centrífuga.

Fuente: Autor del proyecto.

Además el software admite describir las disposiciones de compensación, los cuales son una estructura de diseño o acciones de un operador para evitar o mitigar el efecto de una falla funcional. Estas precauciones pueden incluir acciones tales como respaldos, funciones redundantes, la seguridad, dispositivos de relevo, seleccionado de equipos para mitigar problemas (Como el cambio a un sistema secundario), sistemas de prevención o alerta, o sistemas indicadores. EMPUGAM S.A.S. actualmente no cumple con estas disposiciones, por lo que se busca identificar acciones preventivas o predictivas que ayuden a mitigar las posibles fallas antes de que ocurran.

4.2.4 modos de falla que ocasiona cada falla funcional.

Seguidamente se enlista los diferentes modos de fallas, los cuales describen las posibles formas en que un activo puede fallar, de esta forma se puede decir que hay casos en que se presentan uno o más modo de falla por una sola falla. Este listado debe incluir cualquier evento o proceso que pueda causar deterioro, defectos de diseño y errores humanos, que pueden ser causados por operadores o mantenedores.

La *figura 20* y *figura 21* describen los modos de fallas que causan que una falla funcional se presente, es decir por qué se presenta un fallo en el activo. La información se registra en el panel FMECA & RCM information haciendo click derecho sobre la falla a la que queremos describir el posible modo de falla.

Los diferentes modos de fallas se identifican en el software con un número, los cuales al unirse con los indicativos de las funciones y las fallas, forman un código que diferencian a cada modo y efecto de falla entre sí. En este apartado se registra los diferentes efectos (local effects) y consecuencias de las fallas (end effects) descritos en las *tablas 15, 16, 17 y 18*.

Por otro lado el software permite identificar el método de detección, que es el medio por el cual la falla funcional llega a ser evidente y como sus modos de fallas son detectados. Además admite registrar la clase de severidad midiendo la importancia de cada modo; así mismo deja estipular el promedio de tiempo entre fallas (MTBF) definido como el inverso de la tasa de falla de un modo de falla en particular durante un periodo específico.

FMECA & RCM Information	
SB01 Motor eléctrico.	
0	Girar el eje de la bomba centrífuga a una velocidad
A	El motor no gira.
1	Fallo de alimentación del motor. (no recibe corrie)
2	Eje bloqueado por rodamientos dañados.
3	Bobinado roto o quemado.
4	Terminal de conexión del cable eléctrico de alimen
B	Temperatura del motor supera los 40°C.
1	Bajo aislamiento en las bobinas del motor.
2	Falta lubricación en las chumaceras del motor.
1	Sostener la velocidad rotacional de la bomba entre
A	El motor no sostiene o no supera las 1500 RPM.
1	Desgaste en los rodamientos.
2	Falla en las bobinas del motor.
3	Falla en el controlador de velocidad.
4	Desalineacion y desequilibrio del eje.

Failure Mode - SB01 - 0A4		
Item ID: SB01 Motor eléctrico.	FMI: 0 - A - 4	Rev: <input type="checkbox"/>
Failure Mode Description: Terminal de conexión del cable eléctrico de alimentación defectuoso.		
Local Effects: El bornes o terminal de la conexión esta sulfatado.		
Next Higher Effects: Corto circuito.		
End Effects: Mal contacto eléctrico, lo cual opone gran resistencia al paso de la corriente.		
Detection Method: Medicion de flujo Electrico a la entrada y salida.		
Severity Class: 2 - Critical	Item ID code of failed item: SB01-010A4	
Effectivity: Sistema de Bombeo.	Part No of failed item: 010A4	Operating Phase: Phase I
MTBF: 1500	A - Operating Hours	

Figura 20. Modo de falla – Motor eléctrico.

Fuente: Autor del proyecto.

Los modos de fallas son importantes de entender, debido a que permite mejorar la fiabilidad del producto; es claro tener en cuenta que entre más complejo sea el sistema a evaluar, más modos de fallas se presentaran.

FMECA & RCM Information			
SB01 Bomba Centrífuga			
0 Bombar el agua tratada a las redes de distribución			
A No bombea agua.			
	1	Valvula de cheque de 8 pulg. no sella.	
	2	Atascamiento en los rodamientos.	
	3	Tuberia de hierro de 8 pulg. fracturada por perdid	
B Bombea agua a un caudal menor de 214 Lt/Seg.			
	1	Falla por fatiga debido a falta de lubricacion en	
	2	fuga por cuerpo de la bomba.	
C Fuga de agua por sello mecanico.			
	1	Atascamiento del fuelle del sello mecanico.	
	2	Imperfeccion, roctura o extruccion del sello mecan	
1 Transportar el agua en toda la red de distribución			
A No transporta el agua tratada por que el impulsor			
	1	Rotura de la placa de desgaste, los alabes y el an	
B Perdida de potencia del motor.			
	1	Falla del devanado del motor (Aislamiento).	
	2	Caidad de energía en la fuente de alimentación.	

Failure Mode - SB01 - 0C2			
Item ID: SB01 Bomba Centrífuga.	FMI: 0 - C - 2	Rev: <input type="checkbox"/>	
Failure Mode Description: Imperfeccion, roctura o extruccion del sello mecanico.			
Local Effects: Las caras de contacto del sello mecanico no acoplan con el rotor y el estator.			
Next Higher Effects: Fuga del producto entre las caras.			
End Effects: Perdida del fluido a traves del eje, disminucion de la presion interna y averias prematuras.			
Detection Method: Inspeccion visual.			
Severity Class: 2 - Critical	Item ID code of failed item: SB01-020C2		
Effectivity: Sistema de Bombeo.	Part No of failed item: 020C2	Operating Phase: Phase I	
MTBF: 1500 A - Operating Hours			

Figura 21. Modo de falla – Bomba centrífuga.

Fuente: Autor del proyecto.

Luego de haber identificado cada modo de falla, se pone a consideración que sucede cuando se presenta, para así evaluar sus consecuencias y decidir (de ser posible) que se debe hacer para

anticiparlo, prevenirlo, detectarlo o corregirlo, llegado el caso hasta para rediseñar las acciones de manteniendo.

4.2.5 efecto de falla que produce cada falla.

Finalmente el análisis de modos y efectos de fallas termina identificando aquellos efectos que provocan cada modo de falla, es decir aquí se describe lo que sucede cuando se presenta cada modo de falla.

Para iRCMS los efectos de fallas son considerados como el impacto que una falla funcional tiene en un equipo bajo análisis, los elementos que actúan en la función y la capacidad del equipo. Un efecto de falla debe ser descrito en términos de daño físico, incluyendo los primarios y los secundarios que pueden ocurrir.

La *Tabla 15* y *Tabla 16* relacionan respetivamente cada efecto de falla con el modo de falla, teniendo en cuenta el indicativo que diferencia a uno del otro según la falla y el modo evaluado. Hay que tener en cuenta que los efectos de fallas no son lo mismo que consecuencias de fallas, debido a que el efecto describe que sucede, mientras la consecuencia responde a cómo afecta la falla en el sistema.

El software permite identificar estos efectos en simultáneo cuando se registran los modos de fallas, estos se pueden evidenciar en la *figura 20* y *figura 21* el cual al realizar el reporte de cada modo, estos buscan relacionar toda la información necesaria para respaldar las consecuencias de fallas.

Tabla 15
Efectos de falla – Motor eléctrico

Sistema:		Sistema de Bombé o de Distribución de Agua.	
Subsistema:		Motor eléctrico.	
Modo de Falla.		Efecto de Falla.	
1	Fallo de alimentación del motor. (no recibe corriente eléctrica)	No permite que el motor arranque debido a falla de comunicación en el tablero eléctrico. Desconexiones.	0A1
2	Eje bloqueado por rodamientos dañados.	Se produce desgastes en el borde al entrar en contacto con las aristas del borde debido al entre giro. Sellado ineficaz del rodamiento.	0A2
3	Bobinado roto o quemado.	Se bloquea el rotor o se genera un sobrecalentamiento.	0A3
4	Terminal de conexión del cable eléctrico de alimentación defectuoso.	Los bornes o terminal de la conexión esta sulfatado.	0A4
1	Bajo aislamiento en las bobinas del motor.	Deterioro del aislamiento de los bobinados del motor. Exceso de calor en el bobinado.	0B1
2	Falta lubricación en las chumaceras del motor.	Se produce exceso de fricción porque la cantidad de lubricante no separa las superficies de contactos rodantes y deslizantes durante el funcionamiento.	0B2
1	Desgaste en los rodamientos.	Emite más calor y tiene una eficiencia menor.	1A1
2	Falla en las bobinas del motor.	Desalineación del eje, bobina cortocircuitada, corto en el interior o en la salida de la ranura	1A2
3	Falla en el controlador de velocidad.	Discrepancia en la impedancia entre la fuente y la carga.	1A3
4	Desalineación y desequilibrio del eje.	El motor no está alineado correctamente con la bomba.	1A4

Nota: disposiciones a tener en cuenta en la evaluación. Fuente: Autor del proyecto.

Tabla 16
Efectos de falla – Bomba centrífuga

Sistema:		Sistema de Bombé o de Distribución de Agua.	
Subsistema:		Bomba Centrífuga.	
	Modo de Falla.	Efecto de Falla. (que sucede)	
1	Válvula de cheque de 8 pulg, no sella.	Retorno del agua potable, debido a que no cierra el paso de líquidos en circulación en contraflujo.	0A1
2	Atascamiento en los rodamientos.	Se produce desgastes en el borde al entrar en contacto con las aristas del borde debido al entre giro.	0A2
3	Tubería de hierro de 8 pulg fracturada por pérdida de espesor.	Escape del fluido en el conducto de descarga de la bomba.	0A3
1	Falla por fatiga debido a falta de lubricación en los rodamientos.	Se produce una elevación de fricción del material en la superficie de todos los rodamientos a la entrada de agua.	0B1
2	Fuga por cuerpo de la bomba.	Se produce perdida del fluido por la parte protectora de la bomba.	0B2
1	Atascamiento del fuelle del sello mecánico.	El sello obstruye el movimiento del eje rotatorio.	0C1
2	Imperfección, rotura o extracción del sello mecánico.	Las caras de contacto del sello mecánico no acoplan con el rotor y el estator.	0C2
1	Rotura de la placa de desgaste, los alabes y el anillo del impulsor debido a la cavitación.	Las burbujas que viajan por el impulsor llegan a una zona de alta presión, en la periferia del impulsor, donde las burbujas colapsan en implosiones.	1A1
1	Falla del devanado del motor (Aislamiento).	Se proporciona cortos internos del devanado, los cuales al final de las vueltas no presentan un sendero claro a tierra. (Perdidas internas de energía)	1B1
2	Caída de energía en la fuente de alimentación.	Se producen caída de tensión al suministro la energía de abastecimiento en el motor.	1B2

Nota: disposiciones a tener en cuenta en la evaluación. Fuente: Autor del proyecto.

Se debe aclarar que en el contexto operativo de la empresa, actualmente no se están tomando acciones preventivas para mitigar los posibles fallos que se puedan presentar, esto se debe a que la organización no tiene estipulado un plan de mantenimiento, conforme a los lineamientos

establecidos por la Norma ISO 9001 que establece que la organización debe estipular planes de mantenimiento preventivo y correctivo que aseguren que toda la infraestructura se encuentre en condiciones idóneas de funcionamiento y así evitar contingencias que repercutan la calidad del producto y/o servicio.

A continuación se presenta las tablas de los análisis de modos y efectos de fallas que se realizó a los activos que componen el sistema de bombeo de la empresa de servicios públicos EMPUGAM S.A.S.

Es importante reconocer que cada uno de los ítem que se describen aquí, ayudan a tener un desarrollo más certero de lo que se quiere lograr, lo cual abarca una mejor perspectivas para establecer el plan de manteniendo centrado en confiabilidad RCM, basándose en parámetro que brinde un mejor entorno de trabajo y un mejor rendimiento de los equipos que componen el sistema.

La *Tabla 17* y *Tabla 18* se establecen con el fin de conocer las relación que existe entre las funciones, fallas funciones, modos de fallas y efectos de falla.

Tabla 17
Análisis de modos y efectos de fallas – Motor eléctrico

Análisis de Modos y Efectos de Falla.		Sistema:	Sistema de Bombé o de Distribución de Agua.		
		Subsistema	Motor eléctrico.		
		:			
Función.	Falla Funcional.		Modo de Falla.	Efecto de Falla.	
0 Girar el eje de la bomba centrífuga a una velocidad entre 1500 y 1800 RPM, con una temperatura promedio de 40°C y una corriente máxima de 440 v.	A El motor no gira.	1	Fallo de alimentación del motor. (no recibe corriente eléctrica)	No permite que el motor arranque debido a falla de comunicación en el tablero eléctrico. Desconexiones.	0A1
		2	Eje bloqueado por rodamientos dañados.	Se produce desgastes en el borde al entrar en contacto con las aristas del borde debido al entre giro. Sellado ineficaz del rodamiento.	0A2
		3	Bobinado roto o quemado.	Se bloquea el rotor o se genera un sobrecalentamiento.	0A3
		4	Terminal de conexión del cable eléctrico de alimentación defectuoso.	El borne o terminal de la conexión esta sulfatado.	0A4
	B Temperatura del motor supera los 40°C	1	Bajo aislamiento en las bobinas del motor.	Deterioro del aislamiento de los bobinados del motor. Exceso de calor en el bobinado.	0B1
		2	Falta lubricación en las chumaceras del motor.	Se produce exceso de fricción porque la cantidad de lubricante no separa las superficies de contacto (rodantes y deslizantes) durante el funcionamiento.	0B2

Nota: Evaluación AMFE realizada a los dos motores eléctricos del sistema de distribución de agua. Fuente: autor del proyecto.

Tabla 17
continuación

Función.	Falla Funcional.	Modo de Falla.	Efecto de Falla. (que sucede)		
1	A	1	Desgaste en los rodamientos.	Emite más calor y tiene una eficiencia menor.	1A1
		2	Falla en las bobinas del motor.	Desalineación del eje, bobina cortocircuitada, corto en el interior o en la salida de la ranura	1A2
		3	Falla en el controlador de velocidad.	Discrepancia en la impedancia entre la fuente y la carga.	1A3
		4	Desalineación y desequilibrio del eje.	El motor no está alineado correctamente con la bomba.	1A4
Sostener la velocidad rotacional de la bomba entre 1500 y 1800 rpm de acuerdo al setpoint a una temperatura promedio de 40° C y corriente Max de 440 v.		El motor no sostiene o no supera las 1500 RPM.			

Nota: Evaluación AMFE realizada a los dos motores eléctricos del sistema de distribución de agua. Fuente: autor del proyecto.

Tabla 18
Análisis de modos y efectos de fallas – Bomba centrífuga

Análisis de Modos y Efectos de Falla.		Sistema: Sistema de Bombé o de Distribución de Agua.				
		Subsistema: Bomba centrífuga.				
Función.	Falla Funcional.		Modo de Falla.	Efecto de Falla.		
0	A	No bombea agua.	1	Válvula de cheque de 8 pulg, no sella.	Retorno del agua potable, debido a que no cierra el paso de líquidos en circulación en contraflujo.	0A1
			2	Atascamiento en los rodamientos.	Se produce desgastes en el borde al entrar en contacto con las aristas del borde debido al entre giro.	0A2
			3	Tubería de hierro de 8 pulg fracturada por pérdida de espesor.	Escape del fluido en el conducto de descarga de la bomba.	0A3
	B	Bombea agua a un caudal menor de 214 Litro/Seg.	1	Falla por fatiga debido a falta de lubricación en los rodamientos.	Se produce una elevación de fricción del material en la superficie de todos los rodamientos a la entrada de agua.	0B1
			2	Fuga por cuerpo de la bomba.	Se produce perdida del fluido por la parte protectora de la bomba.	0B2
			C	Fuga de agua por sello mecánico.	1	Atascamiento del fuelle del sello mecánico.
	2	Imperfección, rotura o extracción del sello mecánico.			Las caras de contacto del sello mecánico no acoplan con el rotor y el estator.	0C2

Nota: Evaluación AMFE realizada a las dos bombas centrífugas del sistema de distribución de agua. Fuente: autor del proyecto.

Tabla 18
Continuación

Función.	Falla Funcional.	Modo de Falla.	Efecto de Falla.	
1 Transportar el agua en toda la red de distribución con el caudal requerido.	A No transporta el agua tratada por que el impulsor tiene desgaste.	1 Rotura de la placa de desgaste, los alabes y el anillo del impulsor debido a la cavitación.	Las burbujas que viajan por el impulsor llegan a una zona de alta presión, en la periferia del impulsor, donde las burbujas colapsan en implosiones.	1A1
		1 Falla del devanado del motor (Aislamiento).	Se proporciona cortos internos del devanado, los cuales al final de las vueltas no presentan un sendero claro a tierra. (Perdidas internas de energía)	1B1
	B Perdida de potencia del motor.	2 Caída de energía en la fuente de alimentación.	Se producen caída de tensión al suministro la energía de abastecimiento en el motor.	1B2

Nota: Evaluación AMFE realizada a las dos bombas centrifugas del sistema de distribución de agua. Fuente: autor del proyecto.

4.3 Establecer el plan de mantenimiento basado en los lineamientos de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), implementando el software iRCM

En la etapa final del proyecto, se busca generar herramientas que sean de ayuda para mitigar los posibles fallos que pueden ocurrir dentro del contexto operativo de la empresa. El plan de mantenimiento es una metodología que establece acciones preventivas, predictivas, detectivas y correctivas el cual brindaran un soporte para mejorar la efectividad de los activos, con tareas necesarias y oportunas con el fin de aumentar al máximo la vida útil de los equipos.

Es importante que dentro de un plan de mantenimiento se evalué la criticidad de las fallas potenciales, las cuales repercuten en altos costos de mantenimiento. El análisis de criticidad de un activo ayuda a determinar la jerarquización de procesos, sistemas y equipos de un plan complejo, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable.

En este apartado además se quiere dar respuesta a las tres últimas preguntas de RCM, haciendo referencia a cada modo de falla en particular, de esta forma minimizar las consecutivas que cada falla pueda ocasionar.

4.3.1 Consecuencias en las que afecta cada falla.

RCM es una metodología de planificación de mantenimiento basado en la confiabilidad de sistemas, el cual busca que sus activos sigan cumpliendo con el objeto por el cual son adquiridos. Las consecuencias de las fallas se presentan como aquel efecto adverso directo sobre la capacidad operacional si un bien físico presenta una falla.

Después de haber identificado cada modo de falla y sus efectos a un nivel de detalle, el siguiente paso dentro del proceso de RCM es evaluar las consecuencias de cada modo de falla, esto se hace teniendo en cuenta los efectos de fallas como fuente primordial de información.

Tabla 19
Consecuencias de falla – Motor eléctrico

Sistema:	Sistema de Bombé o de Distribución de Agua.
Subsistema:	Motor eléctrico.
Consecuencias de falla	
0A1	Tiempo de inactividad no planeado, desgaste prematuro del motor.
0A2	Altas temperaturas de funcionamiento, fatiga temprana y falla prematura de los rodamientos.
0A3	Reducción de la potencia del motor, baja la condición normal de operación.
0A4	Mal contacto eléctrico, lo cual opone gran resistencia al paso de la corriente.
0B1	Disminución del caudal, perdida de corriente y aumento considerable de la temperatura.
0B2	Reducción de la eficacia de los motores que se traduce en costes añadidos y aumento de las temperaturas de funcionamiento.
1A1	Desgaste acelerado en componentes rotatorios (averías en los rodamientos)
1A2	Tiempos de inactividad no planeados.
1A3	Aumento de potencia en la salida del motor.
1A4	Ocasiona fuertes vibraciones y desgaste prematuro en los componentes de la unidad mecánica (averías prematuras)

Nota: disposiciones a tener en cuenta en la evaluación. Fuente: Autor del proyecto.

Dentro del software iRCMS las consecuencias de fallas se presentan como aquellos efectos finales que provocan un modo de falla o una falla múltiple que afecta al sistema en cuestión. En la *Tabla 19* y *Tabla 20* se describen las consecuencias de fallas que pueden llegar a causar las fallas funcionas del equipo analizado, estos defectos radican más en importancia que en características técnicas, lo cual sugiere una idea más cercana al manejo de la falla, debido a que en vez de anticipar y prevenir, esto busca evitar y reducir daños severos.

Tabla 20
 Consecuencias de falla – Bomba centrífuga

Sistema:	Sistema de Bombé o de Distribución de Agua.
Subsistema:	Bomba Centrífuga.
Consecuencias de falla	
0A1	No regula la circulación del agua potable.
0A2	Paradas súbitas, rigidez del movimiento y desgastes de los rodamientos.
0A3	Perdida del fluido por fractura de la tubería de hierro debido a la pérdida de espesor producida por la corrosión.
0B1	Riesgo de fatiga iniciada en la superficie en todos los rodamientos, si la película de aceite no separa por completo las superficies de contacto rodantes.
0B2	Disminuye la energía de velocidad impartida al fluido por el impulsor, la cual es convertida en energía de presión.
0C1	Perdida de fluido y de contacto de las caras del sello mecánico.
0C2	Perdida del fluido a través del eje, disminución de la presión interna y averías prematuras.
1A1	Ocasiona desbalanceo y vibraciones que afectan el normal funcionamiento de la bomba, pérdida de eficiencia del equipo en sus condiciones iniciales, provoca pequeñas perforaciones y ruido.
1B1	No se produce el campo magnético giratorio necesario para el arranque del motor, este desequilibrio crea un flujo de corriente excesivo en una o más fases que a continuación aumenta las temperaturas de funcionamiento, lo que lleva a una ruptura del aislamiento.
1B2	Interferencias eléctricas y sobre picos de tensión.

Nota: disposiciones a tener en cuenta en la evaluación. Fuente: Autor del proyecto.

Conociendo las consecuencias de fallas es de vital importancia distinguir los eventos que presentan, debido a que estos pueden relacionarse con la seguridad de las personas, el medio ambiente, algún tipo de norma o reglamentación, la producción, el costo o afecta algún componente en particular.

4.3.2 Medidas preventivas de acuerdo a cada modo de falla.

Conocer las consecuencias de fallas ayuda a establecer medidas que distinguen a cada evento en particular, ya que estos son necesarios dentro del proceso para así realizar un análisis en la toma de decisiones. Para establecer las medidas preventivas se tiene en cuenta el diagrama de decisiones, en el cual se evalúa cada modo de falla teniendo en cuenta sus efectos y consecuencias de falla.

En la *figura 2* se muestra el diagrama de decisiones el cual se divide en dos secciones, la primera sección la encontramos a manera de fila y se identifican con las categorías H, S, E, O. con estas categorías se analiza cada modo de falla, los cuales ayudan a determinar si estos modos son evidentes, lesivos, contaminantes o si causan pérdidas económicas en la operación, por otro lado estos modos de fallos presentan ciertos efectos, los cuales se pueden mitigar con tareas de mantenimientos, estas acciones se identifican en la segunda sección del diagrama a manera de columna en categorías H, S, O, N pero también estas categorías se clasifican por nivel.

Nivel 1 – tareas a condición (predicativas).

Nivel 2 – tareas de reacondicionamiento cíclico (preventivas).

Nivel 3 – tareas de sustitución cíclica (preventivas).

Nivel 4 – tareas de busca de falla (detectivas).

Nivel 5 – tareas de rediseño (correctivas).

Estos niveles son evaluados dependiendo la complejidad del modo de fallo, esto quiere decir si es o no es factible realizar la tarea de mantenimiento. Si la respuesta es si hasta ahí llegaría el análisis, pero si es no se sigue analizando. Cuando se evalúa cada etapa del diagrama, se analiza que tipo de tarea es la más adecuada para el modo de falla evaluado

La *Tabla 21* y *Tabla 22* muestran las hojas de decisiones, donde se analiza cada modo de falla teniendo en cuenta el diagrama de decisiones. Aquí se encuentra la referencia de información que hace alusión a los indicativos de la función (**F**), falla funcional (**FF**) y modo de falla (**MF**), luego se ubica la evaluación de las consecuencias que se refiere a la primera sección del diagrama de decisiones, el cual radica en la importancia del modo de fallo o una falla múltiple. Seguidamente se localiza la segunda sección del diagrama donde se evalúa el tipo de tarea que hay que realizar, después se describe la tarea asignada, el intervalo de tiempo en el cual se debe realizar la tarea y por último se ubica el encargado de realizar la actividad propuesta.

En la hoja de decisiones de la *Tabla 21* se encuentra el modo de falla 0A4 que describe *Terminal de conexión del cable eléctrico de alimentación defectuoso*, al analizar este modo en el diagrama de decisiones se evidencia que la evaluación de la consecuencia lo ubica como pérdidas económicas en la operación, en el cual se debe realizar una tarea a condición que estipula un monitoreo que identifique que la falla esta por ocurrir o está en el proceso de ocurrir, con esta información se toma a condición la tarea de mantenimiento *Chequeo de los terminales de conexión, observando que estos no se encuentren sulfatados*, esta tarea se propone en un intervalo mensual el cual debe realizar el ingeniero encargado de mantenimiento.

Con la descripción anterior se toma a consideración el desarrollo de evaluación realizado a cada modo de falla, es importante tener claro que las tareas son asignadas según las siguientes condiciones, la primera consideración establece “ser factible técnicamente”, esto quiere decir si existe una tarea realizable que reduzca el efecto de la falla a un nivel tolerable, y la segunda consideración dice que si “el modo merece la pena”, esto se refiere si la tarea de manteniendo reduce la consecuencia del modo de falla a un nivel que justifique los costos directos e indirectos de la operación.

Tabla 21
Hoja de decisiones – Motor eléctrico

Hoja de Decisiones.								Sistema			Sistema de Bombeo o de Distribución.							
								Subsistema			Motor eléctrico							
Referencia de Información.		Evaluación de las consecuencias.						H1	H2	H3	Acción a Falta de			Tareas Propuestas.	Intervalo Inicial.	A realizar por:		
F	FF	MF	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4						
							O1	O2	O3				N1				N2	N3
0	A	1	S	N	N	S	S									Inspección visual del tablero de control y conexiones de cableado con el fin de evitar posibles daños.	Mensual.	Ingeniero de mantenimiento
0	A	2	N				N	S								Revisión de los rodamientos, comprobando el estado de desempeño en la operación.	Cada 4 meses.	Técnico mecánico
0	A	3	N				N	S								Examinar las bobinas, verificando que se encuentren en óptimas condiciones.	Cada 4 meses.	Técnico mecánico
0	A	4	S	S			S									Chequeo de los terminales de conexión, observando que estos no se encuentren sulfatados.	Mensual.	Ingeniero de mantenimiento
0	B	1	N				S									Inspección del aislamiento del bobinado, con el fin de verificar que este se encuentre en buen estado.	Mensual.	Ingeniero de mantenimiento
0	B	2	S	N	N	S	N	S								Revisión de la chumacera, verificando que se encuentra lubricado adecuadamente.	Cada 3 meses.	Técnico mecánico

Nota: fuente: autor del proyecto.

Tabla 21
continuación

Hoja de Decisiones.		Sistema			Sistema de Bombeo o de Distribución.				Tareas Propuestas.	Intervalo Inicial.	A realizar por:	
		Subsistema			Motor eléctrico							
Referencia de Información.		Evaluación de las consecuencias.					H1	H2	H3	Acción a Falta de		
F	FF	MF	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4
							O1	O2	O3			
							N1	N2	N3			
1	A	1	N				S					
										Inspección de los rodamientos, comprobando que estos se encuentren en buen estado.	Mensual.	Ingeniero de mantenimiento
1	A	2	N				N	N	S			
										Chequeo del bobinado, examinando que este no produzca cortocircuito.	Cada 4 meses.	Ingeniero de mantenimiento - Técnico mecánico
1	A	3	S	N	N	N	N	S				
										Revisión del controlador de velocidades, comprobando el óptimo desempeño del sistema.	Cada 4 meses.	Técnico mecánico
1	A	4	S	S			N	N	S			
										Chequeo del eje, con el fin de verificar que no se presente desalineación.	Cada 2 meses.	Ingeniero de mantenimiento - Técnico mecánico

Nota: fuente: autor del proyecto.

Cabe resaltar que para un correcto análisis de los modos de fallo, es necesario tener un amplio conocimiento sobre el sistema que se está analizando, ya que de esa detección es que se puede abordar sobre los problemas futuros que se puedan presentar y de esta forma plantear las mejores acciones preventivas.

Tabla 22
 Hoja de decisiones – Bomba Centrífuga

Hoja de Decisiones.		Sistema			Sistema de Bombeo o de Distribución.				Tareas Propuestas.	Intervalo Inicial.	A realizar por:	
		Subsistema			Bomba							
Referencia de Información.		Evaluación de las consecuencias.					H1	H2	H3	Acción a Falta de		
F	FF	MF	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4
							O1	O2	O3			
							N1	N2	N3			
0	A	1	S	N	N	S	N	S				
										Revisión de la válvula de cheque, verificando su normal funcionamiento.	Cada 5 meses.	Técnico mecánico
0	A	2	N				S					
										Inspección visual de los rodamientos, examinando que no haya partículas que obstaculicen su normal funcionamiento.	Mensual	Ingeniero de mantenimiento
0	A	3	N				N	N	S			
										Chequeo de tubería de 8 pulgadas, con el fin de identificar efectos corrosivos.	Cada 7 meses.	Ingeniero de mantenimiento - Técnico mecánico
0	B	1	N				N	S				
										Revisión de los rodamientos, comprobando que no haya exceso de lubricante o se realice de forma inadecuada.	Cada 4 meses.	Técnico mecánico
0	B	2	S	N	N	S	S					
										Cheque del cuerpo de la bomba, revisando que todos sus elementos se encuentren en buen estado.	Mensual	Ingeniero de mantenimiento

Nota: fuente: autor del proyecto.

Tabla 22
continuación

Hoja de Decisiones.		Sistema			Sistema de Bombeo o de Distribución.				Tareas Propuestas.	Intervalo Inicial.	A realizar por:				
		Subsistema			Bomba										
Referencia de Información.		Evaluación de las consecuencias.					H1	H2	H3	Acción a Falta de					
F	FF	MF	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4			
							O1	O2	O3						
							N1	N2	N3						
0	C	1	N				N	S					Revisión del sello mecánico, comprobando que este no obstruya en movimiento del eje.	Cada 2 meses.	Técnico mecánico
0	C	2	N				S						Chequeo del sello mecánico, verificando que este no esté en mal estado provocando contacto entre caras.	Mensual.	Ingeniero de mantenimiento
1	A	1	N				N	N	N	N	S		Cambiar los elementos que componen el impulsor, para un mejor rendimiento del sistema.	Cuando falle.	Técnico mecánico - Operario
1	B	1	N				N	S					Examinar el bobinado del motor, comprobando que el aislamiento se encuentre en óptimas condiciones.	Cada 5 meses.	Técnico mecánico
1	B	2	S	S			N	N	S				Inspeccionar la fuente de alimentación, para evitar caídas de tensión cuando el sistema esté en funcionamiento.	Cada 3 meses.	Ingeniero de mantenimiento - Técnico mecánico

Nota: fuente: autor del proyecto.

La *figura 22* muestra cómo se asignan las tareas de mantenimiento según el modo de falla, además se le asigna el personal encargado de realizar la tarea y los costos de mantenimiento que el software computa relacionando saldos por operario y costos de material a utilizar, estos valores son estimados según criterios del autor.

Failure Mode - SB01 - QA4

Item ID: SB01 Motor electrico. FMI: 0 - A - 4 Rev:

Task ID: QA4 #

Task Description:
Chequeo de los terminales de conexión, observando que estos no se encuentren sulfatados.

Preliminary Task Interval: 1 1 - Mensual

Preliminary LOM: Técnico mecáni

Packaged Task Interval: 1 1 - Mensual

Packaged LOM: Ingeniero de ma

Task Man Hours: 1

Task Material Cost: \$50'000.00

Non Recurring Cost: \$20'000.00

Elapsed Maintenance Time: 1 (hours)

Cost of One Service/Lube Task:

Preliminary: \$1'750'000.00 --> \$1'750'000.00

Packaged: \$3'050'000.00 --> \$3'050'000.00

Task Accepted

Figura 22. Registro de tarea de mantenimiento y costo de operación.

Fuente: autor del proyecto.

4.3.3 Análisis de criticidad como un plan de acción apropiado.

Por último se realiza el análisis de criticidad, el cual es una metodología que permite establecer un método que sirva de instrumento o de ayuda en la determinación de la jerarquía o prioridades del sistema, creando una estructura que facilite la forma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los resultados en el área donde sea importante y/o

necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en el contexto operativo actual de la empresa.

Para realizar el análisis de criticidad, se siguen unos lineamientos establecidos en la norma ISO JA1011, el cual expone un modelo semi-cuantitativo, que permite subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejados de manera subordinada y evaluativa, esta subdivisión establece factores de frecuencia y factores de consecuencias a tener en cuenta según la falla a evaluar, además estos factores tienen un valor ponderado de 1 a 5 según la norma.

Tabla 23

Tabla de ponderación – factor de frecuencia

Factor Frecuencia (FF)	Ponderación
“Frecuente, más de 3 eventos al año”.	5
“Probable, 1-3 eventos al año”.	4
“Posible, 1 evento en 3 años”.	3
“Improbable, 1 evento en 5 años”.	2
“Sumamente improbable, menos de un evento en 5 años”.	1

Nota: fuente: autor del proyecto basado en (Sifontes, 2017).

Los factores de consecuencia involucran aspectos como impacto operacional, factor flexible de operación, costos de mantenimiento, impactos medio ambientales e impactos de seguridad que son tenidos en cuenta dentro del contexto operativo.

Tabla 24

Tabla de ponderación – factor de consecuencia

Factor de Consecuencia	
Impacto operacional (IO)	Ponderación
“perdidas mayores 75% producción mes”	5
“perdidas 50% a 74% producción mes”	4
“perdidas 25% a 49% producción mes”	3
“perdidas 10% a 24% producción mes”	2
“perdidas inferiores 10% producción mes”	1

Nota: fuente: autor del proyecto basado en (Sifontes, 2017).

Tabla 24
continuación.

Factor de Consecuencia	
Factor flexibilidad operacional (FO)	Ponderación
“No existe stock, tiempos reparación altos”.	5
“Stock parcial, procedimiento reparación complejo”.	4
“Stock parcial, procedimiento reparación sencillo”.	3
“Stock suficiente, procedimiento reparación complejo”.	2
“Stock suficiente, tiempos reparación bajos”.	1
Costo de mantenimiento (CM)	Ponderación
“Costos de materiales superior 20000 USD”.	5
“Costos de materiales superior 10000-20000 USD”.	4
“Costos de materiales superior 3000-10000 USD”.	3
“Costos de materiales superior 200-3000 USD”.	2
“Costos de materiales inferior 200 USD”.	1
Impacto medio ambiental(IMA)	Ponderación
“Daños irreversibles en el ambiente”.	5
“Daños severos al ambiente”.	4
“Daños medios al ambiente”.	3
“Daños mínimos al ambiente”.	2
“sin daño ambiental”.	1
Impacto seguridad (IS)	Ponderación
“Muerte o incapacidad”.	5
“Incapacidad parcial o permanente”.	4
“Daños o enfermedades severas”.	3
“Daños leves en personas”.	2
“Sin impacto en la seguridad”.	1

Nota: fuente: autor del proyecto basado en (Sifontes, 2017).

En un análisis de criticidad conocer los aspectos evaluativos es el primer paso para avanzar en el proceso, ya que para cada equipo puede existir más de un modo de falla, donde el más representativo será el de mayor impacto en la ejecución del sistema.

El análisis de criticidad expuesto aquí se realiza teniendo en cuenta las fallas funciones y como el modo de falla interviene dentro del proceso, para así determinar cuál fallo es más crítico en el equipo. Para calcular los valores de criticidad, se hace uso de las siguientes ecuaciones:

$$TC = \sum IO + FO + CM + IMA + IS$$

Figura 23. Total de consecuencias.

La *figura 23* hace alusión a la sumatoria de todos los factores de consecuencia, y la *figura 24* estima la criticidad total como la multiplicación del total de consecuencias por el factor de frecuencia. Además se tiene a consideración que el total de consecuencias se debe redondear para luego establecer el factor de criticidad y así realizar la matriz.

$$CT = TC \cdot FF$$

Figura 24. Criticidad total.

Tabla 25
Análisis de Criticidad – Motor eléctrico

Criticidad Motor eléctrico		Consecuencias de falla						Total de consecuencia	Criticidad total	Consecuencia redondeada	Factor de criticidad	Jerarquización
Falla		FF	IO	FO	CM	IMA	IS					
0A	El motor no gira.	5	4	5	2	2	2	15	75	20	5 – 20	Critico
0B	Temperatura del motor supera los 40°C	4	3	3	1	2	2	11	44	10	4 – 10	Semi critico
1A	El motor no sostiene o no supera las 1500 RPM.	5	4	4	2	2	2	14	70	10	5 – 10	Critico

Nota: fuente: autor del proyecto.

En la *Tabla 25* y *Tabla 26* se muestra el proceso del análisis de criticidad, en el cual los valores asignados se toman realizando un análisis previo de cómo cada uno de los criterios expuestos en las tablas de ponderación intervienen en cada una de las fallas, es decir se analiza el fallo, teniendo en cuenta sus modos de falla y se evalúa que tan frecuente o probable puede llegar a ser la falla evaluada según el factor evaluado.

Con la estimación de los datos evaluados, se calcula el total de consecuencia y la criticidad total haciendo uso de las ecuaciones mencionadas. Conociendo estos valores se procede en primera instancia a redondear el valor del total de consecuencias de cada una de las fallas, debido a que con la consecuencia redondeada y el factor de frecuencia constituyen el factor de criticidad, el cual ayuda a ubicar la falla en la matriz. Por otro lado con los valores de la criticidad total se estima si la falla es crítica, Semi crítica y no crítica, esto se hace utilizando unos rangos de criticidad los cuales son establecidos por la norma.

Tabla 26
Análisis de Criticidad – Bomba centrífuga

Criticidad Bomba Centrífuga		Consecuencias de falla						Total de consecuencia	Criticidad total	Consecuencia redondeada	Factor de criticidad	Jerarquización
Falla	FF	IO	FO	CM	IMA	IS						
0A	No bombea agua.	5	5	5	3	2	2	17	85	20	5 – 20	critico
0B	Bombea agua a un caudal menor de 214 Lt/Seg.	5	4	4	2	1	1	12	60	10	5 – 10	critico
0C	Fuga de agua por sello mecánico.	3	3	3	1	2	1	10	30	10	3 – 10	Semi critico
1A	No transporta el agua tratada por que el impulsor tiene desgaste.	3	3	4	3	1	2	13	39	10	3 – 10	Semi critico
1B	Perdida de potencia del motor.	2	4	5	3	2	2	16	32	20	2 – 20	Semi critico

Nota: fuente: autor del proyecto.

En la *tabla 27* se identifican los rangos de criticidad, a partir de una escala de colores como se describe a continuación:

- ✓ Color rojo, crítico en un rango de 50 a 125.
- ✓ Color amarillo, Semi crítico en un rango de 30 a 49.
- ✓ Color verde, no crítico en un rango de 5 a 29.

En el análisis de criticidad se puede determinar que el sistema de bombeo presenta cuatro fallas en estado crítico y cuatro en estado semi crítico, al validar los datos obtenidos se indaga que las tareas de mantenimiento deben ser ejecutadas para mitigar el impacto que asocia a los modos de fallo identificados, causados por estas fallas funcionales.

Tabla 27
Rango de criticidad

Rango de valores
Crítico. $50 \leq CT \leq 125$
Semi crítico. $30 \leq CT \leq 49$
No crítico. $5 \leq CT \leq 29$

Nota: disposición a tener en cuenta para evaluar la criticidad de cada una de las fallas funcionales. Fuente: autor del proyecto basado en (Sifontes, 2017).

Luego con los datos obtenidos se procede a crear la matriz de criticidad, la cual es una matriz 5X5 teniendo en cuenta que la norma establece 5 criterios por cada factor analizado. Para ubicar la falla en la matriz se hace uso del factor de criticidad, el cual indica la posición de la falla.

En la *Tabla 28* se identifica que los motores eléctricos presentan dos fallas en estado crítico, a los cuales se tendrá que tener riguroso seguimiento en las tareas de mantenimiento asignadas, además se presenta una falla en estado semi crítico que de igual manera deberá tener un seguimiento de control, para atenuar los posibles modos de fallas que aquí intervienen.

Tabla 28
Matriz de criticidad – Motor eléctrico

		Matriz de criticidad				
Factor de frecuencia	5		1A		0A	
	4		0B			
	3					
	2					
	1					
		5	10	15	20	25
		Factor de consecuencia				

Nota: localización de las fallas funcionales a partir del factor de criticidad. Fuente: autor del proyecto.

Las matrices de criticidad nacen a partir de los cálculos que establecen el factor de criticidad, esta matriz se conforma de la previa multiplicación de los factores de frecuencia por los factores de consecuencias, en un rango de 5 a 125 lo cual ayuda a establecer los colores según la *tabla 27*.

La valoración del nivel de criticidad y la identificación de los activos más críticos permite orientar los recursos y esfuerzos a las áreas que más lo ameriten, así como gerenciar las acciones de mitigación del riesgo en cada equipo, considerando su impacto en el proceso.

Tabla 29
Matriz de criticidad – Bomba centrífuga

		Matriz de criticidad				
Factor de frecuencia	5		0B		0A	
	4					
3		0C - 1A				
2				1B		
1						
		5	10	15	20	25
		Factor de consecuencia				

Nota: localización de las fallas funcionales a partir del factor de criticidad. Fuente: autor del proyecto.

La *tabla 29* indica que la bomba centrífuga presenta dos fallas en estado crítico y tres en estado semi crítico, por ende se les deberá tener un seguimiento a partir de las acciones de mantenimiento aquí establecidas.

Al realizar las actividades de manteniendo, el encargado deberá asegurar que las tareas se ejecutan con continuidad en el tiempo de la aplicación establecido en el plan de acción, además deberá promover la cultura de la información en todos los niveles de la empresa, posteriormente se llevara un monitoreo de los cambios o mejoras que pueden derivarse de la aplicación de las acciones generadas como resultados de los análisis para determinar si se requiere un nuevo análisis.

Conclusión

Con el desarrollo de nuevos sistemas, la inspección o evaluación de los estamentos que conforman una empresa, ha logrado que la gestión de mejora continua sea de gran satisfacción para posicionar a una organización en un rango de desempeño alto, lo cual hace que los servicios que se prestan a los usuarios sean confiables y factibles. EMPUGAM S.A.S. es una entidad que está en un proceso que abarca el crecimiento y posicionamiento de sus servicios a un nivel mayor, generando un mejor servicio de calidad. En este documento se evalúa todo el contexto operativo de la organización, lo cual proporciona a que la empresa realice cambios que ayude a tener un control y mejor seguimientos de las acciones que se realizan.

Al evaluar el plan de mantenimiento preventivo que implementa actualmente la empresa, se evidencio que este no está dando los resultados que deberían obtenerse, debido a que no hay un registro de todas las acciones de mantenimiento que se le ejecutan a los equipos con los que se les presta el servicio al municipio; además dentro de la empresa los empleados son cambiados en cada periodo electoral, lo cual representa un proceso de retroceso para mejorar la prestación del servicio a los usuarios. Otro factor que dentro de la evaluación se evidencio fue que las tareas de mantenimiento para evitar fallos potenciales, no están siendo ejecutadas, ya que se espera que el equipo falle para así luego realizar el mantenimiento adecuado, causando elevados costos en las operaciones de mantenimiento y paradas en la prestación del servicio.

Al realizar el análisis de modos y efectos de fallas se establecieron las funciones que los dispositivos desempeñan en su contexto operativo presente, identificando los posibles fallos que se pueden presentar a la hora de prestar el servicio, estos fallos se evaluaron para así determinar cada uno de los modos y efectos de fallos que pueden afectar en paradas súbitas a los equipos. En el proceso se identificaron diez modos de fallas por equipo, el cual al hacer este tipo de

análisis ayuda a optimizar el rendimiento y la vida útil de los elementos que componen el sistema de suministro de agua, reduciendo costos en las operaciones de mantenimiento.

Finalmente con toda la información recolectada se establece el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad; en este proceso se identificaron cada una de las consecuencias de acuerdo a cada modo de falla, estos aspectos fueron evaluados por medio del diagrama de decisiones, el cual ayuda a plasmar cada una de las acciones que se deben realizar para evitar que cada dispositivos deje de funcionar. Por otro lado se realizó el análisis de criticidad para estimar que tan crítico puede llegar hacer cada falla en el contexto operativo, el sistema fue considerado altamente crítico, por lo que se debe ejecutar las acciones de mantenimiento propuestas en este documento.

Recomendaciones

- ✓ La empresa deberá establecer evaluaciones para la contratación del personal encargado de mantenimiento, con el fin de gestionar nuevas perspectivas dentro de las operaciones que se realizan.
- ✓ Los mantenedores, operarios o técnicos deberán registrar todos los procedimientos realizados a cada equipo, teniendo en cuenta los formatos que aquí se crearon.
- ✓ Los componentes solamente deben cambiarse cuando no estén en capacidad de cumplir con su función, lo cual permite disminuir el inventario y el tiempo asociado a reemplazo de componentes, ayudando de esta manera a reducir costos en la unidad.

Referencias

- Afzali, P., Keynia, F., & Rashidinejad, M. (2019). A new model for reliability-centered maintenance prioritisation of distribution feeders. *Energy*, *171*, 701-709.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.040>
- Aguilar Otero, J. R., Torres Arcique, R., & Magaña Jiménez, D. (2010). Failure mode and effects and criticality analysis (FMECA) for maintenance planning using risk and safety criteria. *Tecnología, Ciencia, Educación*, *25*(1), 15-26.
- Álvarez Zaldívar, D., & Hernández Areu, O. (2020). Propuesta de un nuevo programa de mantenimiento a los motores hyundai de grupos fuel oi. *Ingeniería Energética*, *41*(2).
- Appollis, L. M., van Dyk, W. A., & Matope, S. (2020). Using failure modes and effects analysis as a problem-solving guideline when implementing spc in a south african chemical manufacturing company. *South African Journal of Industrial Engineering*, *31*(1), 157-169.
<https://doi.org/10.7166/31-1-2294>
- Benítez Montalvo, R. I., Díaz Concepción, A., Cabrera Gómez, J., García Palencia, O., & Maura Echenique, A. (2016). Assessment of components of operational reliability in walk- in freezer. *Ingeniería Mecánica*, *19*(2), 78-84.
- CODELCO. (2001). Corporación Nacional del Cobre, Chile. Recuperado 6 de enero de 2021, de CODELCO website:
https://www.codelco.com/prontus_codelco/site/edic/base/port/nosotros.html
- Cordero, O., & Estupiñan, E. (2018). Propuesta De Optimización Del Mantenimiento De Planta Minera De Cobre Ministro Hales, Mediante Análisis De Confiabilidad, Utilizando La Metodología Fmea. *Investigacion & Desarrollo*, *18*(1), 129-142.
<https://doi.org/10.23881/idupbo.018.1-10i>

- de Souza Nunes, A., & de Oliveira Andrade, J. J. (2019). Use of failure data and criticality analysis in a maintenance management tool for electric power distribution company. *DYNA (Colombia)*, 86(208), 199-205. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n208.69794>
- Díaz Concepción, A., Villar Ledo, L., Cabrera Gómez, J., Gil Henríquez, A. S., Mata Alonzo, R., & Rodríguez Piñeiro, A. J. (2016). Implementación del Mantenimiento Centrado en la confiabilidad en empresas de transmisión eléctrica. *Ingeniería Mecánica*, 19(3), 137-142.
- Duran, J. (2020). Caso de estudio: aplicación del RCM en una mina de cobre - Reliabilityweb: A Culture of Reliability. Recuperado 6 de enero de 2021, de reliabilityweb.com website: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/caso-de-estudio-aplicacion-del-rcm-en-una-mina-de-cobre>
- Ferreira, J. D. C., Rodrigues, M. C., Franciscato, L. S., & Correr, I. (2017). Proposta de um método para priorização de risco em FMEA considerando custo de ocorrência do modo de falha em sua etapa de detecção. *Exacta*, 15(3), 487-499. <https://doi.org/10.5585/exactaep.v15n3.6875>
- González Fernández, F. J. (2014). *Auditoria del mantenimiento e indicadores de gestión* (p. 249). p. 249. Recuperado de <https://www.auditorlider.com/wp-content/uploads/2019/06/Auditoria-del-mantenimiento-e-indicadores-de-gestion.pdf>
- Hamdan, K., Tavangar, M., & Asadi, M. (2021). Optimal preventive maintenance for repairable weighted k-out-of-n systems. *Reliability Engineering and System Safety*, 205(September 2020), 107267. <https://doi.org/10.1016/j.res.2020.107267>
- IRCMS. (2017). INTEGRATED RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE SYSTEM (IRCMS). Recuperado 25 de enero de 2021, de datsi.fi.upm.es website: <http://www.datsi.fi.upm.es/~rail/new/WP2/TOOLS-ircms/TOOLS-ircms.htm>

- Jaramillo Jimenez, V., Bouhmala, N., & Haugen Gausdal, A. (2020). Developing a predictive maintenance model for vessel machinery. *Journal of Ocean Engineering and Science*, 5(4), 358-386. <https://doi.org/10.1016/j.joes.2020.03.003>
- Kimera, D., & Nangolo, F. N. (2020). Predictive maintenance for ballast pumps on ship repair yards via machine learning. *Transportation Engineering*, 2(August), 100020. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2020.100020>
- Lu, S., Pei, J., Liu, X., & Pardalos, P. M. (2021). A hybrid DBH-VNS for high-end equipment production scheduling with machine failures and preventive maintenance activities. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 384, 113195. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2020.113195>
- Lu, X. Q., Yan, H. F., Su, Z. L., Zhang, M. X., Yang, X. H., & Ling, H. F. (2020). Metaheuristics for homogeneous and heterogeneous machine utilization planning under reliability-centered maintenance. *Computers and Industrial Engineering*, 106934. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106934>
- Lucas de Oliveira, M., De Vasconcellos Favarin, E., & Ruppenthal, J. E. (2018). Process FMEA in a University Hospital: management of Occupational Risks in Boilers. *Exacta*, 16(3). <https://doi.org/10.5585/exactaep.v16n3.7327>
- Martínez Péres, F., & Álvarez Garcia, S. (2019). Analysis of Recurrent Failures and Proposal of Solutions for the Water Pumping System. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 28(1), 1-9. Recuperado de <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/rcta/article/view/1087>
- Matoso, C. (2020). Cerro Matoso. Recuperado 14 de enero de 2021, de south32.net website: <https://www.south32.net/our-business/south-america/cerro-matoso>
- Mil-p-, S. (2008). RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE (RCM) PROCESS.

Department of defense standard practice, (January). Recuperado de <http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-3000-9999/download.php?spec=MIL-STD-3034.030534.pdf>

Moubray, J. (1997). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. Edición en Español* (Industrial).

Oviedo Serrano, E., & Sepúlveda Pimienta Mayo del, Y. (2017). *DISEÑO DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PARA LA FLOTA DE CAMIONES CATERPILLAR 777G DE CERRO MATOSO, UTILIZANDO LA METODOLOGÍA MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD*. Recuperado de <https://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/7736/130472.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Pino Gómez, J., Hernández Montero, F. E., Montesinos Otero, M. E., Téllez, M. A., Gónzales Martínez, J., & Cruz Guzmán, Y. (2017). TRABAJO TEORICO EXPERIMENTAL Importancia para el mantenimiento de elementos mecánicos y fallos en turbinas de vapor . Análisis de históricos Maintenance importance of mechanical elements and faults in steam turbines . Data history analysis. *Ingeniería Energética*, XXXVIII(2), 106-114.

Poveda Guevara, A. J. (2011). Aplicación de la Metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para el Desarrollo de Planes de Mantenimiento. *Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)*, (1), 6. Recuperado de [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/20586/1/Articulo CICYT APOVEDA RCM.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/20586/1/Articulo%20CICYT%20APOVEDA%20RCM.pdf)

Rodríguez, S. (2018). Bombeo de agua motorizado. Recuperado 28 de mayo de 2021, de Tecnologías, ciencia y educación website: <https://sswm.info/es/gass-perspective->

es/tecnologias-de/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/distribucion/bombeo-de-agua-motorizado

- Sifontes, J. R. (2017). Norma SAE JA1011 Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Recuperado 6 de enero de 2021, de pdmtechusa.com website: <http://www.pdmtechusa.com/criterios-evaluacion-rcm/>
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, S. (2015). *EVALUACIÓN INTEGRAL DE PRESTADORES DOMICILIARIOS DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE GAMARRA CESAR- SAS*. (Id 27514), 1-18.
- Yavuz, O., Doğan, E., Carus, E., & Görgülü, A. (2019). Reliability Centered Maintenance Practices in Food Industry. *Procedia Computer Science*, 158, 227-234.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.046>
- Yu, T. S., & Han, J. H. (2021). Scheduling proportionate flow shops with preventive machine maintenance. *International Journal of Production Economics*, 231(July 2020), 107874.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107874>
- Zakikhani, K., Nasiri, F., & Zayed, T. (2020). Availability-based reliability-centered maintenance planning for gas transmission pipelines. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 183(October 2019), 104105.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2020.104105>
- Zhang, F., Shen, J., Liao, H., & Ma, Y. (2021). Optimal preventive maintenance policy for a system subject to two-phase imperfect inspections. *Reliability Engineering and System Safety*, 205(December 2019), 107254. <https://doi.org/10.1016/j.res.2020.107254>

APÉNDICE

Apéndice A
Ficha técnica del motor de zona baja

FICHA TECNICA DE MAQUINARIA			
REALIZADO POR:	ING. EMANUEL DAVID CARRASCAL ROMERO	FECHA	25/05/2020
MAQUINA	Motor de zona baja	UBICACIÓN	Planta
FABRICANTE	KOHLBACH	SECCION	Distribución
MODELO	180M - 0204	CODIGO DE INVENTARIO	PM-03
MARCA	KOHLBACH		
CARACTERISTICAS GENERALES			
PESO 180Kg	ALTURA 420 mm	Tiempo servicio 12 horas	
CARACTERISTICAS TÉCNICAS		FOTO DE LA MAQUINA	
Potencia 30 Hp - 22kW			
Voltaje 220V - 380V - 440V			
Corriente 72A - 41,6A - 36A			
RPM 1760			
Amazon 180M			
Par a PL Carga 89 lb.Pie			
Rendimiento			
50	87.5		
75	88.1		
100	89.9		
FACTOR DE POTENCIA %			
50	71		
75	82		
100	86		
FUNCION OPERATIVA			
Distribución del agua tratada hacia la zona alta del municipio			
FECHA DE MANTENIMIENTO 6 MESES			

Nota: Fuente: EMPUGAM S.A.S.

Apéndice B
Ficha técnica de motor de zona alta

FICHA TECNICA DE MAQUINARIA			
REALIZADO POR:	ING. EMANUEL DAVID CARRASCAL ROMERO	FECHA	25/05/2020
MAQUINA	Motor de zona baja	UBICACIÓN	Planta
FABRICANTE	BALDOR	SECCION	Distribución
MODELO	EM4316T	CODIGO DE INVENTARIO	PM-02
MARCA	BALDOR		
CARACTERISTICAS GENERALES			
PESO 232kg	ALTURA 520 mm	TIEMPO DE TRABAJO 12 horas	
CARACTERISTICAS TÉCNICAS		FOTO DE LA MAQUINA	
Potencia 60 Hp - 45kW			
Voltaje 230V - 380V - 460V			
Corriente 75.5 A			
RPM 1780			
Armazon 364T			
Par a PL Carga 177 lb.Pie			
Rendimiento			
50	94.7		
75	94.7		
100	95		
FACTOR DE POTENCIA %			
50	75		
75	83		
100	86		
FUNCION OPERATIVA			
Distribución de agua tratada para la zona baja del municipio			
MANTENIMIENTO PREVENTIVO 6 MESES			

Nota: Fuente: EMPUGAM S.A.S.

Apéndice C
Reporte FMECA IRCMS – Motor eléctrico

FMECA Report

Print Date: 09/06/2021

IRCMS

ITEM IDENT NO.	ITEM NOMEN	FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		MISSION PHASE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION	SEV CLASS	MTBF/UNITS
		NO.	Description	LTR	Description	NO.	Description		LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER EFFECTS	END EFFECTS			
SB01	Motor eléctrico.	0	Girar el eje de la bomba centrífuga a una velocidad entre 1500 y 1800 RPM, con una temperatura promedio de 40°C y una corriente máxima de 440 v.	A	El motor no gira.	1	Fallo de alimentación del motor. (no recibe corriente eléctrica)	Phase I	No permite que el motor arranque debido a falla de comunicación en el tablero eléctrico.	Desconexiones.	Tiempo de inactividad no planeado, desgaste prematuro del motor.	Inspección visual.	2	3'000.00/A
SB01	Motor eléctrico.	0	Girar el eje de la bomba centrífuga a una velocidad entre 1500 y 1800 RPM, con una temperatura promedio de 40°C y una corriente máxima de 440 v.	A	El motor no gira.	2	Eje bloqueado por rodamientos dañados.	Phase I	Se produce desgaste en el borde al entrar en contacto con las aristas del borde debido al entregiro. Sellado Ineficaz del rodamiento.	Falla prematura de los rodamientos.	Altas temperaturas de funcionamiento y fatiga temprana.	Inspección visual.	1	3'000.00/A
SB01	Motor eléctrico.	0	Girar el eje de la bomba centrífuga a una velocidad entre 1500 y 1800 RPM, con una temperatura promedio de 40°C y una corriente máxima de 440 v.	A	El motor no gira.	3	Bobinado roto o quemado.	Phase I	Se bloquea el rotor o se genera un sobrecalentamiento.	Baja la condición normal de operación.	Reducción de la potencia del motor.	Inspección visual.	1	1'500.00/A
SB01	Motor eléctrico.	0	Girar el eje de la bomba centrífuga a una velocidad entre 1500 y 1800 RPM, con una temperatura promedio de 40°C y una corriente máxima de 440 v.	A	El motor no gira.	4	Terminal de conexión del cable eléctrico de alimentación defectuoso.	Phase I	El borne o terminal de la conexión está sulfatado.	Corto circuito.	Mal contacto eléctrico, lo cual opone gran resistencia al paso de la corriente.	Medición de flujo Eléctrico a la entrada y salida.	2	1'500.00/A

Nota: resultados del análisis de modos y efectos de fallas, realizado en el software iRCMS. Fuente: autor del proyecto.

Apéndice C
continuación

FMECA Report

Print Date: 09/06/2021

IRCMS

ITEM IDENT NO.	ITEM NOMEN	FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		MISSION PHASE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION	SEV CLASS	MTBF/UNITS
		NO.	Description	LTR	Description	NO.	Description		LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER EFFECTS	END EFFECTS			
SB01	Motor eléctrico.	0	Girar el eje de la bomba centrífuga a una velocidad entre 1500 y 1800 RPM, con una temperatura promedio de 40°C y una corriente máxima de 440 v.	B	Temperatura del motor supera los 40°C.	1	Bajo aislamiento en las bobinas del motor.	Phase I	Deterioro del aislamiento de los bobinados del motor.	Exceso de calor en el bobinado.	Disminución del caudal, pérdida de corriente y aumento considerable de la temperatura.	Medición de aislamiento Megueo.	2	9'000.00/A
SB01	Motor eléctrico.	0	Girar el eje de la bomba centrífuga a una velocidad entre 1500 y 1800 RPM, con una temperatura promedio de 40°C y una corriente máxima de 440 v.	B	Temperatura del motor supera los 40°C.	2	Falta lubricación en las chumaceras del motor.	Phase I	Se produce exceso de fricción porque la cantidad de lubricante no separa las superficies de contacto rodantes y deslizantes durante el funcionamiento.	Aumento de las temperaturas de funcionamiento.	Reducción de la eficacia de los motores que se traduce en costes añadidos.	Inspeccion visual.	3	1'500.00/A
SB01	Motor eléctrico.	1	Sostener la velocidad rotacional de la bomba entre 1500 y 1800 RPM de acuerdo al setpoint a una temperatura promedio de 40°C y corriente Max de 440V.	A	El motor no sostiene o no supera las 1500 RPM.	1	Desgaste en los rodamientos.	Phase I	Emite mas calor y tiene una eficiencia menor.	Averías en los rodamientos.	Desgaste acelerado en componentes rotatorios.	Inspeccion visual.	2	2'000.00/A
SB01	Motor eléctrico.	1	Sostener la velocidad rotacional de la bomba entre 1500 y 1800 RPM de acuerdo al setpoint a una temperatura promedio de 40°C y corriente Max de 440V.	A	El motor no sostiene o no supera las 1500 RPM.	2	Falla en las bobinas del motor.	Phase I	Desalineación del eje, bobina cortocircuitada.	Corto en el interior o en la salida de la ranura.	Tiempos de inactividad no planeados.	Medición de corriente y voltaje.	1	9'000.00/A

Nota: resultados del análisis de modos y efectos de fallas, realizado en el software iRCMS. Fuente: autor del proyecto.

Apéndice C
continuación

FMECA Report

Print Date: 09/06/2021

IRCMS

ITEM IDENT NO.	ITEM NOMEN	FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		MISSION PHASE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION	SEV CLASS	MTBF/UNITS
		NO.	Description	LTR	Description	NO.	Description		LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER EFFECTS	END EFFECTS			
S801	Motor eléctrico.	1	Sostener la velocidad rotacional de la bomba entre 1500 y 1800 RPM de acuerdo al setpoint a una temperatura promedio de 40°C y corriente Max de 440V.	A	El motor no sostiene o no supera las 1500 RPM.	3	Falla en el controlador de velocidad.	Phase I	Discrepancia en la impedancia entre la fuente y la carga.	Caída de energía.	Aumento de potencia en la salida del motor.	Inspeccion visual y sonora.	3	3'000.00/A
S801	Motor eléctrico.	1	Sostener la velocidad rotacional de la bomba entre 1500 y 1800 RPM de acuerdo al setpoint a una temperatura promedio de 40°C y corriente Max de 440V.	A	El motor no sostiene o no supera las 1500 RPM.	4	Desalineacion y desequilibrio del eje.	Phase I	El motor no esta alineado correctamente con la bomba.	Averias prematuras.	Ocasina fuertes vibraciones y desgaste prematuro en los componentes de la unidad mecanica.	Inspeccion visual.	1	1'500.00/A

Nota: resultados del análisis de modos y efectos de fallas, realizado en el software iRCMS. Fuente: autor del proyecto.

Apéndice D
Reporte de análisis RCM – Motor eléctrico

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 09/06/2021

End Item: SB01Motor electrico.

Item ID: SB01

Motor electrico.

Failure Mode: DA1

Fallo de alimentacion del motor. (no recibe corriente electrica)

MTBF: 3'000.00 Operating Hours

Safety:

Hidden/Evident:

Severity: II

End Effects:

Tiempo de inactividad no planeado, desgaste prematuro del motor.

Failure Detection Method:

Inspeccion visual.

Analysis Status: Approved

Approval Date: 02/06/2021

Analyst: Javier Rincón Quintero

Approved By: Jose Rivera Diaz

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
->	DA1	SL	Inspección visual del tablero de control y conexiones de cableado con el fin de evitar posibles daños.	1.00/1	1.00/1	\$3.500.0 -----	1.00/ A

Nota: resultados de RCM a partir de las acciones propuestas, teniendo en cuenta costos de mantenimiento y análisis de criticidad, realizado en el software iRCMS. Fuente: autor del proyecto.

Apéndice D
continuación

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 09/06/2021

End Item: SB01Motor electrico.

Item ID: SB01

Motor electrico.

Failure Mode: 0A2

Eje bloqueado por rodamientos dañados.

MTBF: 3'000.00 Operating Hours

Safety:

Hidden/Evident:

Severity: I

End Effects:

Altas temperaturas de funcionamiento y fatiga temprana.

Failure Detection Method:

Inspeccion visual.

Analysis Status: Approved

Approval Date: 02/06/2021

Analyst: Javier Rincón Quintero

Approved By: Jose Rivera Diaz

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
->	0A2	SL	Revisión de los rodamientos, comprobando el estado de desempeño en la operación.	4.00/D	5.00/D	\$1.100.0 -----	0.25/ A

Nota: resultados de RCM a partir de las acciones propuestas, teniendo en cuenta costos de mantenimiento y análisis de criticidad, realizado en el software iRCMS. Fuente: autor del proyecto.

Apéndice D
continuación

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 09/06/2021

End Item: SB01Motor electrico.

Item ID: SB01

Motor electrico.

Failure Mode: OA3

Bobinado roto o quemado.

MTBF: 1'500.00 Operating Hours

Safety:

Hidden/Evident:

Severity: 1

End Effects:

Reduccion de la potencia del motor.

Failure Detection Method:

Inspeccion visual.

Analysis Status: Approved

Approval Date: 02/06/2021

Analyst: Javier Rincón Quintero

Approved By: Jose Rivera Diaz

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
->	OA3	SL	Examinar las bobinas, verificando que se encuentren en optimas condiciones.	4.00/D	4.00/D	\$850.000 ---	0.25/ A

Nota: resultados de RCM a partir de las acciones propuestas, teniendo en cuenta costos de mantenimiento y análisis de criticidad, realizado en el software iRCMS. Fuente: autor del proyecto.

Apéndice D
continuación

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 09/06/2021

End Item: SB01Motor electrico.

Item ID: SB01

Motor electrico.

Failure Mode: 0A4

Terminal de conexión del cable eléctrico de alimentación defectuoso.

MTBF: 1'500.00 Operating Hours

Safety:

Hidden/Evident:

Severity: II

End Effects:

Mal contacto eléctrico, lo cual opone gran resistencia al paso de la corriente.

Failure Detection Method:

Medicion de flujo Electrico a la entrada y salida.

Analysis Status: Approved

Approval Date: 02/08/2021

Analyst: Javier Rincón Quintero

Approved By: Jose Rivera Diaz

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
->	0A4	SL	Chequeo de los terminales de conexión, observando que estos no se encuentren sulfatados.	1.00/1	1.00/1	\$1.750.0 -----	1.00/ A

Nota: resultados de RCM a partir de las acciones propuestas, teniendo en cuenta costos de mantenimiento y análisis de criticidad, realizado en el software iRCMS. Fuente: autor del proyecto.

Apéndice D
continuación

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 09/06/2021

End Item: SB01Motor electrico.

Item ID: SB01

Motor electrico.

Failure Mode: OB1

Bajo aislamiento en las bobinas del motor.

MTBF: 9'000.00 Operating Hours

Safety:

Hidden/Evident:

Severity: II

End Effects:

Disminucion del caudal, perdida de corriente y aumento considerable de la temperatura.

Failure Detection Method:

Medicion de aislamiento Megueo.

Analysis Status: Approved

Approval Date: 02/06/2021

Analyst: Javier Rincón Quintero

Approved By: Jose Rivera Diaz

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
->	OB1	SL	Inspección del aislamiento del bobinado, con el fin de verificar que este se encuentre en buen estado.	1.00/1	1.00/1	\$3.550.0 -- -- --	1.00/ A

Nota: resultados de RCM a partir de las acciones propuestas, teniendo en cuenta costos de mantenimiento y análisis de criticidad, realizado en el software iRCMS. Fuente: autor del proyecto.

Apéndice D
continuación

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 09/06/2021

End Item: SB01Motor electrico.

Item ID: SB01

Motor electrico.

Failure Mode: 0B2

Falta lubricación en las chumaceras del motor.

MTBF: 1'500.00 Operating Hours

Safety:

Hidden/Evident:

Severity: III

End Effects:

Reduccion de la eficacia de los motores que se traduce en costes anadidos.

Failure Detection Method:

Inspeccion visual.

Analysis Status: Approved

Approval Date: 02/08/2021

Analyst: Javier Rincón Quintero

Approved By: Jose Rivera Diaz

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
->	0B2	SL	Revisión de la chumacera, verificando que se encuentra lubricado adecuadamente.	3.00/D	3.00/D	\$1.200.0 -----	0.33/ A

Nota: resultados de RCM a partir de las acciones propuestas, teniendo en cuenta costos de mantenimiento y análisis de criticidad, realizado en el software iRCMS. Fuente: autor del proyecto.

Apéndice D
continuación

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 09/06/2021

End Item: SB01Motor electrico.

Item ID: SB01
Motor electrico.

Failure Mode: 1A1

Desgaste en los rodamientos.

MTBF: 2'000.00 Operating Hours

Safety:

Hidden/Evident:

Severity: II

End Effects:

Desgaste acelerado en componentes rotatorios.

Failure Detection Method:

Inspeccion visual.

Analysis Status: Approved

Approval Date: 02/06/2021

Analyst: Javier Rincón Quintero

Approved By: Jose Rivera Diaz

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
->	1A1	SL	Inspección de los rodamientos, comprobando que estos se encuentren en buen estado.	1.00/1	2.00/1	\$3.460.0 -----	1.00/ A

Nota: resultados de RCM a partir de las acciones propuestas, teniendo en cuenta costos de mantenimiento y análisis de criticidad, realizado en el software iRCMS. Fuente: autor del proyecto.

Apéndice D
continuación

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 09/06/2021

End Item: SB01Motor electrico.

Item ID: SB01

Motor electrico.

Failure Mode: 1A2

Falla en las bobinas del motor.

MTBF: 9'000.00 Operating Hours

Safety:

Hidden/Evident:

Severity: I

End Effects:

Tiempos de inactividad no planeados.

Failure Detection Method:

Medicion de corriente y voltaje.

Analysis Status: Approved

Approval Date: 02/06/2021

Analyst: Javier Rincón Quintero

Approved By: Jose Rivera Diaz

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
->	1A2	SL	Chequeo del bobinado, examinando que este no produzca cortocircuito.	4.00/D	4.00/D	\$875.000 ----	0.25/ A

Nota: resultados de RCM a partir de las acciones propuestas, teniendo en cuenta costos de mantenimiento y análisis de criticidad, realizado en el software iRCMS. Fuente: autor del proyecto.

Apéndice D
continuación

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 09/06/2021

End Item: SB01Motor electrico.

Item ID: SB01

Motor electrico.

Failure Mode: 1A3

Falla en el controlador de velocidad.

MTBF: 3'000.00 Operating Hours

Safety:

Hidden/Evident:

Severity: III

End Effects:

Aumento de potencia en la salida del motor.

Failure Detection Method:

Inspeccion visual y sonora.

Analysis Status: Approved

Approval Date: 02/06/2021

Analyst: Javier Rincón Quintero

Approved By: Javier Rincón Quintero

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
->	1A3	SL	Revisión del controlador de velocidades, comprobando el optimo desempeño del sistema.	4.00/D	4.00/D	\$887.500 ----	0.25/ A

Nota: resultados de RCM a partir de las acciones propuestas, teniendo en cuenta costos de mantenimiento y análisis de criticidad, realizado en el software iRCMS. Fuente: autor del proyecto.

Apéndice D
continuación

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 09/06/2021

End Item: SB01Motor electrico.

Item ID: SB01

Motor electrico.

Failure Mode: 1A4

Desalineacion y desequilibrio del eje.

MTBF: 1'500.00 Operating Hours

Safety:

Hidden/Evident:

Severity: I

End Effects:

Ocasina fuertes vibraciones y desgaste prematuro en los componentes de la unidad mecanica.

Failure Detection Method:

Inspeccion visual.

Analysis Status: Approved

Approval Date: 02/08/2021

Analyst: Javier Rincón Quintero

Approved By: Jose Rivera Diaz

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
->	1A4	SL	Chequeo del eje, con el fin de verificar que no se presente desalineación.	1.00/1	1.00/1	\$3.600.0 -----	1.00/ A

Nota: resultados de RCM a partir de las acciones propuestas, teniendo en cuenta costos de mantenimiento y análisis de criticidad, realizado en el software iRCMS. Fuente: autor del proyecto.

Apéndice E
Reporte FMECA IRCMS – Bomba centrífuga

FMECA Report

Print Date: 09/06/2021

IRCMS

ITEM IDENT NO.	ITEM NOMEN	FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		MISSION PHASE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION	SEV CLASS	MTBF/UNITS
		NO.	Descripción	LTR	Descripción	NO.	Descripción		LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER EFFECTS	END EFFECTS			
SB01	Bomba Centrífuga.	0	Bombear el agua tratada a las redes de distribución del municipio con un caudal de 214 Lt/Seg, a temperatura ambiente.	A	No bombea agua.	1	Valvula de cheque de 8 pulg. no sella.	Phase I	Retomo del agua potable, debido a que no cierra el paso de líquidos en circulación en contraflujo.	Perdida del fluido.	No regula la circulación del agua potable.	Inspeccion visual.	2	1'500.00/A
SB01	Bomba Centrífuga.	0	Bombear el agua tratada a las redes de distribución del municipio con un caudal de 214 Lt/Seg, a temperatura ambiente.	A	No bombea agua.	2	Atascamiento en los rodamientos.	Phase I	Se produce desgastes en el borde al entrar en contacto con las aristas del borde debido al entregiro.	Paradas subitas.	Rigidez del movimiento y desgastes de los rodamientos.	Inspeccion visual.	3	2'000.00/A
SB01	Bomba Centrífuga.	0	Bombear el agua tratada a las redes de distribución del municipio con un caudal de 214 Lt/Seg, a temperatura ambiente.	A	No bombea agua.	3	Tubería de hierro de 8 pulg fracturada por perdida de espesor.	Phase I	Escape del fluido en el conducto de descarga de la bomba.	Perdida de fluido.	Perdida del fluido por fractura de la tubería de hierro debido a la perdida de espesor produoida por la corrosion.	Inspeccion visual.	1	4'000.00/A
SB01	Bomba Centrífuga.	0	Bombear el agua tratada a las redes de distribución del municipio con un caudal de 214 Lt/Seg, a temperatura ambiente.	B	Bombea agua a un caudal menor de 214 Lt/Seg.	1	Falla por fatiga debido a falta de lubricacion en los rodamientos.	Phase I	Se produce una elevacion de friccion del material en la superficie de todos los rodamientos a la entrada de agua.	Desgaste de rodamientos.	Riesgo de fatiga iniciada en la superficie en todos los rodamientos, si la película de aceite no separa por completo las superficies de contacto rodantes.	Inspeccion visual.	2	3'500.00/A

Nota: resultados del análisis de modos y efectos de fallas, realizado en el software iRCMS. Fuente: autor del proyecto.

Apéndice E
continuación

FMECA Report

Print Date: 09/06/2021

IRCMS

ITEM IDENT NO.	ITEM NOMEN	FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		MISSION PHASE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION	SEV CLASS	MTBF/UNITS
		NO.	Descripción	LTR	Descripción	NO.	Descripción		LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER EFFECTS	END EFFECTS			
SB01	Bomba Centrifuga.	0	Bompear el agua tratada a las redes de distribución del municipio con un caudal de 214 L/Seg, a temperatura ambiente.	B	Bombee agua a un caudal menor de 214 L/Seg.	2	fuga por cuerpo de la bomba.	Phase I	Se produce perdida del fluido por la parte protectora de la bomba.	No hay contencion del fluido.	Disminuye la energia de velocidad impartida al fluido por el Impulsor, la cual es convertida en energia de presion.	Inspeccion visual.	2	1'500.00/A
SB01	Bomba Centrifuga.	0	Bompear el agua tratada a las redes de distribución del municipio con un caudal de 214 L/Seg, a temperatura ambiente.	C	Fuga de agua por sello mecanico.	1	Atascamiento del fuelle del sello mecanico.	Phase I	El sello obstruye el movimiento del eje rotatorio.	Fuga del producto entre las caras.	Perdida de fluido y de contacto de las caras del sello mecanico.	Inspeccion Visual.	3	3'000.00/A
SB01	Bomba Centrifuga.	0	Bompear el agua tratada a las redes de distribución del municipio con un caudal de 214 L/Seg, a temperatura ambiente.	C	Fuga de agua por sello mecanico.	2	Imperfeccion, roctura o extruccion del sello mecanico.	Phase I	Las caras de contacto del sello mecanico no acoplan con el rotor y el estator.	Fuga del producto entre las caras.	Perdida del fluido a traves del eje, disminucion de la presion interna y averias prematuras.	Inspeccion visual.	3	1'500.00/A
SB01	Bomba Centrifuga.	1	Transportar el agua en toda la red de distribución con el caudal requerido.	A	No transporta el agua tratada por que el impulsor tiene desgaste.	1	Rotura de la placa de desgaste, los alabes y el anillo del impulsor debido a la cavitacion.	Phase I	Las burbujas que viajan por el impulsor llegan a una zona de alta presión, en la periferia del impulsor, donde las burbujas colapsan en implosiones.	Provoca pequeñas perforaciones y ruido.	Ocasiona desbalanceo y vibraciones que afectan el normal funcionamiento de la bomba, perdida de eficiencia del equipo en sus condiciones iniciales.	Analisis de vibraciones.	1	1'500.00/A

Nota: resultados del análisis de modos y efectos de fallas, realizado en el software iRCMS. Fuente: autor del proyecto.

Apéndice E
continuación

FMECA Report

Print Date: 09/06/2021

IRCMS

ITEM IDENT NO.	ITEM NOMEN	FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		MISSION PHASE	FAILURE EFFECTS			FAILURE DETECTION	SEV CLASS	MTBF/UNITS
		NO.	Description	LTR	Description	NO.	Description		LOCAL EFFECTS	NEXT HIGHER EFFECTS	END EFFECTS			
SB01	Bomba Centrifuga.	0	Bompear el agua tratada a las redes de distribucion del municipio con un caudal de 214 Lt/Seg, a temperatura ambiente.	B	Bombee agua a un caudal menor de 214 Lt/Seg.	2	fuga por cuerpo de la bomba.	Phase I	Se produce perdida del fluido por la parte protectora de la bomba.	No hay contencion del fluido.	Disminuye la energia de velocidad impartida al fluido por el impulsor, la cual es convertida en energia de presion.	Inspeccion visual.	2	1'500.00/A
SB01	Bomba Centrifuga.	0	Bompear el agua tratada a las redes de distribucion del municipio con un caudal de 214 Lt/Seg, a temperatura ambiente.	C	Fuga de agua por sello mecanico.	1	Atascamiento del fuelle del sello mecanico.	Phase I	El sello obstruye el movimiento del eje rotorario.	Fuga del producto entre las caras.	Perdida de fluido y de contacto de las caras del sello mecanico.	Inspeccion Visual.	3	3'000.00/A
SB01	Bomba Centrifuga.	0	Bompear el agua tratada a las redes de distribucion del municipio con un caudal de 214 Lt/Seg, a temperatura ambiente.	C	Fuga de agua por sello mecanico.	2	Imperfeccion, roctura o extruccion del sello mecanico.	Phase I	Las caras de contacto del sello mecanico no acoplan con el rotor y el estator.	Fuga del producto entre las caras.	Perdida del fluido a traves del eje, disminucion de la presion interna y averias prematuras.	Inspeccion visual.	3	1'500.00/A
SB01	Bomba Centrifuga.	1	Transportar el agua en toda la red de distribucion con el caudal requerido.	A	No transporta el agua tratada por que el impulsor tiene desgaste.	1	Rotura de la placa de desgaste, los alabes y el anillo del impulsor debido a la cavitacion.	Phase I	Las burbujas que viajan por el impulsor llegan a una zona de alta presion, en la periferia del impulsor, donde las burbujas colapsan en implosiones.	Provoca pequenas perforaciones y ruido.	Ocasiona desbalanceo y vibraciones que afectan el normal funcionamiento de la bomba, perdida de eficiencia del equipo en sus condiciones iniciales.	Analisis de vibraciones.	1	1'500.00/A

Nota: resultados del análisis de modos y efectos de fallas, realizado en el software iRCMS. Fuente: autor del proyecto.

Apéndice F
Reporte de análisis RCM – Bomba centrífuga

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 09/06/2021

End Item: SB01Motor electrico.

Item ID: SB01

Bomba Centrífuga.

Failure Mode: 0A1

Valvula de cheque de 8 pulg. no sella.

MTBF: 1*500.00 Operating Hours

Safety:

Hidden/Evident:

Severity: II

End Effects:

No regula la circulacion del agua potable.

Failure Detection Method:

Inspeccion visual.

Analysis Status: Approved

Approval Date: 02/06/2021

Analyst: Javier Rincón Quintero

Approved By: Jose Rivera Diaz

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
->	0A1	SL	Revisión de la válvula de cheque, verificando su normal funcionamiento.	5.00/D	5.00/D	\$700.000 ----	0.20/ A

Nota: resultados de RCM a partir de las acciones propuestas, teniendo en cuenta costos de mantenimiento y análisis de criticidad, realizado en el software iRCMS. Fuente: autor del proyecto.

Apéndice F
continuación

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 09/06/2021

End Item: SB01Motor electrico.

Item ID: SB01

Bomba Centrifuga.

Failure Mode: DA2

Atascamiento en los rodamientos.

MTBF: 2'000.00 Operating Hours

Safety:

Hidden/Evident:

Severity: III

End Effects:

Rigidez del movimiento y desgastes de los rodamientos.

Failure Detection Method:

Inspeccion visual.

Analysis Status: Approved

Approval Date: 02/06/2021

Analyst: Javier Rincón Quintero

Approved By: Jose Rivera Diaz

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
->	DA2	SL	Inspección visual de los rodamientos, examinando que no haya partículas que obstaculicen su normal funcionamiento.	1.00/1	1.00/1	\$1.770.0 -----	1.00/ A

Nota: resultados de RCM a partir de las acciones propuestas, teniendo en cuenta costos de mantenimiento y análisis de criticidad, realizado en el software iRCMS. Fuente: autor del proyecto.

Apéndice F
continuación

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 09/06/2021

End Item: SB01Motor electrico.

Item ID: SB01

Bomba Centrifuga.

Failure Mode: 0A3

Tuberia de hierro de 8 pulg fracturada por perdida de espesor.

MTBF: 4'000.00 Operating Hours

Safety:

Hidden/Evident:

Severity: I

End Effects:

Perdida del fluido por fractura de la tuberia de hierro debido a la perdida de espesor producida por la corrosion.

Failure Detection Method:

Inspeccion visual.

Analysis Status: Approved

Approval Date: 02/06/2021

Analyst: Javier Rincón Quintero

Approved By: Jose Rivera Diaz

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
->	0A3	SL	Chequeo de tuberia de 8 pulgadas, con el fin de identificar efectos corrosivos.	7.00/D	7.00/D	\$252.857 ****	0.14/ A

Nota: resultados de RCM a partir de las acciones propuestas, teniendo en cuenta costos de mantenimiento y análisis de criticidad, realizado en el software iRCMS. Fuente: autor del proyecto.

Apéndice F
continuación

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 09/06/2021

End Item: SB01Motor electrico.

Item ID: SB01

Bomba Centrifuga.

Failure Mode: 0B1

Falla por fatiga debido a falta de lubricacion en los rodamientos.

MTBF: 3'500.00 Operating Hours

Safety:

Hidden/Evident:

Severity: II

End Effects:

Riesgo de fatiga iniciada en la superficie en todos los rodamientos, si la película de aceite no separa por completo las superficies de contacto rodantes.

Failure Detection Method:

Inspeccion visual.

Analysis Status: Approved

Approval Date: 02/06/2021

Analyst: Javier Rincón Quintero

Approved By: Jose Rivera Diaz

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
->	0B1	SL	Revisión de los rodamientos, comprobando que no haya exceso de lubricante o se realice de forma Inadecuada.	4.00/D	4.00/D	\$875.000	0.25/ A

Nota: resultados de RCM a partir de las acciones propuestas, teniendo en cuenta costos de mantenimiento y análisis de criticidad, realizado en el software iRCMS. Fuente: autor del proyecto.

Apéndice F
continuación

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 09/06/2021

End Item: SB01Motor electrico.

Item ID: SB01

Bomba Centrifuga.

Failure Mode: 0B2

fuga por cuerpo de la bomba.

MTBF: 1'500.00 Operating Hours

Safety:

Hidden/Evident:

Severity: II

End Effects:

Disminuye la energia de velocidad impartida al fluido por el impulsor, la cual es convertida en energia de presion.

Failure Detection Method:

Inspeccion visual.

Analysis Status: Approved

Approval Date: 02/06/2021

Analyst: Javier Rincón Quintero

Approved By: Jose Rivera Diaz

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
->	0B2	SL	Cheque del cuerpo de la bomba, revisando que todos sus elementos se encuentren en buen estado.	1.00/1	1.00/1	\$3.500.0	1.00/A

Nota: resultados de RCM a partir de las acciones propuestas, teniendo en cuenta costos de mantenimiento y análisis de criticidad, realizado en el software iRCMS. Fuente: autor del proyecto.

Apéndice F
continuación

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 09/06/2021

End Item: SB01Motor electrico.

Item ID: SB01

Bomba Centrifuga.

Failure Mode: DC1

Atascamiento del fuelle del sello mecanico.

MTBF: 3'000.00 Operating Hours

Safety:

Hidden/Evident:

Severity: III

End Effects:

Perdida de fluido y de contacto de las caras del sello mecanico.

Failure Detection Method:

Inspeccion Visual.

Analysis Status: Approved

Approval Date: 02/06/2021

Analyst: Javier Rincón Quintero

Approved By: Jose Rivera Diaz

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
->	DC1	SL	Revisión del sello mecánico, comprobando que este no obstruya en movimiento del eje.	2.00/D	2.00/D	\$1.720.0 -----	0.50/ A

Nota: resultados de RCM a partir de las acciones propuestas, teniendo en cuenta costos de mantenimiento y análisis de criticidad, realizado en el software iRCMS. Fuente: autor del proyecto.

Apéndice F
continuación

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 09/06/2021

End Item: SB01Motor electrico.

Item ID: SB01

Bomba Centrifuga.

Failure Mode: DC2

Imperfeccion, roctura o extruccion del sello mecanico.

MTBF: 1'500.00 Operating Hours

Safety:

Hidden/Evident:

Severity: III

End Effects:

Perdida del fluido a traves del eje, disminucion de la presion interna y averias prematuras.

Failure Detection Method:

Inspeccion visual.

Analysis Status: Approved

Approval Date: 02/08/2021

Analyst: Javier Rincón Quintero

Approved By: Jose Rivera Diaz

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
->	DC2	SL	Chequeo del sello mecanico, verificando que este no este en mal estado provocando contacto entre caras.	1.00/1	1.00/1	\$1.750.0 -----	1.00/ A

Nota: resultados de RCM a partir de las acciones propuestas, teniendo en cuenta costos de mantenimiento y análisis de criticidad, realizado en el software iRCMS. Fuente: autor del proyecto.

Apéndice F
continuación

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 09/06/2021

End Item: SB01Motor electrico.

Item ID: SB01

Bomba Centrifuga.

Failure Mode: 1A1

Rotura de la placa de desgaste, los alabes y el anillo del impulsor debido a la cavitacion.

MTBF: 1'500.00 Operating Hours

Safety:

Hidden/Evident:

Severity: I

End Effects:

Ocasiona desbalanceo y vibraciones que afectan el normal funcionamiento de la bomba, perdida de eficiencia del equipo en sus condiciones iniciales.

Failure Detection Method:

Analisis de vibraciones.

Analysis Status: Approved

Approval Date: 02/06/2021

Analyst: Javier Rincón Quintero

Approved By: Jose Rivera Diaz

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
->	1A1	SL	Cambiar los elementos que componen el Impulsor, para un mejor rendimiento del sistema.	1.00/G	1.00/	\$2.074.0 00.0000	1.00/ A

Nota: resultados de RCM a partir de las acciones propuestas, teniendo en cuenta costos de mantenimiento y análisis de criticidad, realizado en el software iRCMS. Fuente: autor del proyecto.

Apéndice F
continuación

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 09/06/2021

End Item: SB01Motor electrico.

Item ID: SB01

Bomba Centrifuga.

Failure Mode: 1B1

Falla del devanado del motor (Aislamiento).

MTBF: 1'500.00 Operating Hours

Safety:

Hidden/Evident:

Severity: II

End Effects:

No se produce el campo magnético giratorio necesario para el arranque del motor, este desequilibrio crea un flujo de corriente excesivo en una o mas fases que a continuacion aumenta las temperaturas de funcionamiento.

Failure Detection Method:

Monitoreo.

Analysis Status: Approved

Approval Date: 02/06/2021

Analyst: Javier Rincón Quintero

Approved By: Jose Rivera Diaz

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
->	1B1	SL	Examinar el bobinado del motor, comprobando que el aislamiento se encuentre en optimas condiciones.	5.00/D	5.00/D	\$690.000 ----	0.20/ A

Nota: resultados de RCM a partir de las acciones propuestas, teniendo en cuenta costos de mantenimiento y análisis de criticidad, realizado en el software iRCMS. Fuente: autor del proyecto.

Apéndice F
continuación

RCM Analysis Summary Report

IRCMS

Print Date: 09/06/2021

End Item: SB01Motor electrico.

Item ID: SB01

Bomba Centrifuga.

Failure Mode: 1B2

Caidad de energía en la fuente de alimentación.

MTBF: 1'500.00 Operating Hours

Safety:

Hidden/Evident:

Severity: III

End Effects:

Interferencias electricas y sobrepicos de tension.

Failure Detection Method:

Monitoreo.

Analysis Status: Approved

Approval Date: 02/06/2021

Analyst: Javier Rincón Quintero

Approved By: Jose Rivera Diaz

Summary Recommendation:

Sel	Task Code	Type	Description	Preliminary Interval	Packaged Interval	Cost/Op Time	EMT/Op Time
->	1B2	SL	Inspeccionar la fuente de alimentación, para vitar caidas de tensión cuando el sistema este en funcionamiento.	3.00/D	3.00/D	\$1.153.3 -----	0.33/ A

Nota: resultados de RCM a partir de las acciones propuestas, teniendo en cuenta costos de mantenimiento y análisis de criticidad, realizado en el software iRCMS. Fuente: autor del proyecto.