



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**SISTEMA DE GESTION DE
MANTENIMIENTO CENTRADO EN
CONFIABILIDAD EN LA EMPRESA
CARGILL S.R.L.**

Autor:
Roal Arrieche

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD
EN LA EMPRESA CARGILL S.R.L.

Informe de Pasantías como requisito parcial para optar al título de
INGENIERO INDUSTRIAL

Autor:

Roal Arrieche.

CI: 25.430.753

Tutor (a):

Ing. José Álvarez

San Diego, noviembre de 2023



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

ACTA DE APROBACIÓN

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de JUG. INDUSTRIAL para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado:

SISTEMA DE GESTION DE MANTENIMIENTO
CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD EN LA
EMPRESA GARGILL S.R.L

Realizado por el (la) Br. ROAC ARRACHE

C.I. N° 25.430.753 cursante de la carrera de JUG. INDUSTRIAL

hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral, considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

APROBADO

NO APROBADO

El Jurado

[Signature]
Tutor Académico (Coordinador)
Nombre: Jose perez
C.I.: 6.22270

[Signature]
Jurado
Nombre: Angélica Jaramillo
C.I.: 8.791-901

Jurado
Nombre:
C.I.:

Fecha: 17/11/23

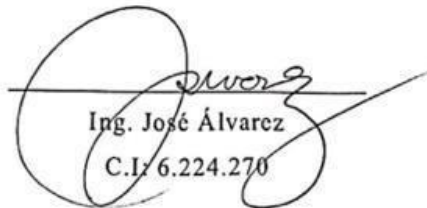


REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**CONSTANCIA DE APROBACIÓN PARA LA PRESENTACIÓN
PÚBLICA DEL TRABAJO DE GRADO**

Quien suscribe, JOSÉ ANTONIO ÁLVAREZ INFANTE, portador de la cédula de identidad N° 6.224.270, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por el ciudadano ROAL ALBERTO ARRIECHE TOVAR, portador de la cédula de identidad N° 25.430.753, titulado **SISTEMA DE GESTION DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD EN LA EMPRESA CARGILL S.R.L.**, presentado como requisito parcial para optar al título de INGENIERO INDUSTRIAL, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 27 días del mes de OCTUBRE del año dos mil veintidós.


Ing. José Álvarez
C.I. 6.224.270

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la fuerza y la dedicación para seguir adelante en este camino de sabiduría. Su manto me ha sostenido cada día y me ha dado la fortaleza para luchar.

A mi familia, por sus consejos y apoyo durante estos años. Su amor y comprensión han sido fundamentales para alcanzar este objetivo.

A la Universidad José Antonio Páez, por ser el centro educativo que me ha permitido forjarme como profesional. A cada profesor que ha contribuido con su experiencia y conocimientos para que haya logrado mis metas.

Un agradecimiento especial al Ing. José Álvarez, por su seguimiento de este trabajo y su aporte que, además de ser tutor académico, se han convertido en unas personas extraordinarias. Su apoyo me ha brindado las fuerzas para continuar este camino.

A mis amigos y compañeros de clase que estuvieron en las altas y bajas en los logros obtenidos Agradecimiento especial a mis amigas las Ing. Mariana De Almeida y la Ing. Lilia Murguey próximas colegas.

Agradezco también a mi tutor empresarial, la Ing. Sofía Rangel, por su disposición y colaboración. Su experiencia y conocimientos sobre el sector fueron de gran ayuda para el desarrollo del trabajo.

Agradezco a todos los compañeros de trabajo de Cargill de Venezuela S.R.L. en especial a el Ing. Jorge Lazo que me brindó su apoyo durante mi estancia en la empresa. Su ayuda fue fundamental para mi desarrollo personal y profesional.

Agradecido con todas las personas que ya no están y me apoyaron en su momento, en especial a la Ing. Karen Salgado a quien recuerdo con mucho cariño al seguir cosechando logros.

Roal Arrieche

DEDICATORIA

Dedico esta tesis primeramente a Dios, quien me provee de salud y fortaleza para seguir adelante, así como también paz y tranquilidad para lograr y cumplir mis objetivos.

A mis padres, Alberto Arrieche y Rosaura Tovar, por el sacrificio y el esfuerzo dedicado día y noche, y por sus enseñanzas, que me han ayudado a ser capaz de superarme y desear lo mejor en cada paso por este camino difícil, gracias a ellos he llegado hasta aquí, es un gran orgullo ser hija de grandes pilares como ellos.

A mi Hermano, Robert Arrieche, por no dejarme rendir y darme ánimos en situaciones difíciles y alentarme cuando más lo necesita.

Y finalmente se le quiere dedicar esta tesis a todos mis amigos, familiares y profesores que me han apoyado, han creído en mí y han contribuido con el trabajo para que se realice con éxito, en especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos en las empresas que trabaje. Gracias a todos los que han recorrido conmigo este camino.

Roal Arrieche.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	pp.
ÍNDICE DE CUADROS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
RESUMEN.....	X
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO	
I LA EMPRESA	
1.1 Descripción de la Empresa.....	4
1.1.1 Ubicación de la Empresa.....	4
1.1.2 Razón Social.....	4
1.1.3 Reseña histórica.....	5
1.2 Misión, Visión, Objetivos y Valores de la Empresa.....	6
1.2.1 Misión.....	6
1.2.2 Visión.....	6
1.2.3 Valores.....	6
1.2.4 Principios.....	7
1.3 Mercados.....	7
1.4 Estructura Organizativa.....	8
1.4.1 Descripción del Departamento donde se desarrolla la Pasantía.....	8
1.4.2 Estructura Organizativa del Departamento.....	9
1.4.3 Departamento de Mantenimiento.....	10
	11
II EL PROBLEMA	
2.1 Planteamiento del Problema.....	12
2.2 Formulación del Problema.....	15

2.3	Objetivos de la Investigación.....	15
2.3.1	Objetivo General.....	15
2.3.2	Objetivos Específicos.....	15
2.4	Justificación.....	16
2.5	Alcance.....	16
2.6	Limitaciones.....	16

III MARCO TEÓRICO

3.1	Antecedentes.....	18
3.2	Bases Teóricas.....	20
3.2.1	Mantenimiento.....	20
3.2.2	Mantenimiento Industrial.....	20
3.2.3	Tipos de mantenimiento	21
3.2.4	Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)	21
3.2.5	Planes de Mantenimiento.....	22
3.2.6	Confiabilidad.....	
3.2.7	Criticidad.....	
3.2.8	Análisis de Criticidad.....	
3.2.9	Matriz de Criticidad.....	22
3.2.10	Falla.....	23
3.2.11	Análisis de modos y efectos de fallo (AMEF).....	23
3.2.12	Diagrama Causa-Efecto.....	24
3.2.13	Diagrama de Pareto.....	24
3.2.14	Norma SAE JA1011.....	24
3.2.15	Norma ISO 14224.....	25
3.2.16	Taxonomía.....	26
3.2.17	Objetivos del RCM y fases del proceso.	27
3.3	Teoría asociada a la investigación	27
3.3.1	Teoría de Sistemas.....	27
3.3.2	Teoría de las Resricciones	28
3.4	Bases Legales.....	29
3.5	Definición de Términos.....	31

IV	MARCO METODOLÓGICO	
	4.1 Tipo de Investigación.....	33
	4.2 Diseño de la Investigación.....	34
	4.3 Nivel de la investigación.....	34
	4.4 Población y muestra.....	35
	4.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	37
	4.5.1. Técnicas.....	37
	4.5.2. Instrumentos.....	37
	4.6 Técnicas de análisis de resultados.....	38
	4.7. Fases metodológicas.....	39
	4.8. Cuadro de Operacionalización de Variables.....	41
V	RESULTADOS	
	5.1 FASE I: Diagnostico del estado que se encuentran los equipos de la planta de tratamientos de aguas residuales así como sus aspectos técnicos, condiciones y fallas.....	42
	5.2 FASE II: Análisis de las causas de fallos que presenta la PTAR de Cargill S.R.L. mediante un análisis AMEF.....	59
	5.3 FASE III: Diseño de un sistema de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para los equipos de la PTAR de Cargill S.R.L.....	72
	5.4 FASE IV: Evaluación de la factibilidad operativa, técnica, y económica del plan de mantenimiento propuesto.....	86
	CONCLUSIONES	90
	RECOMENDACIONES	92
	REFERENCIAS	93
	ANEXOS	94

ÍNDICE DE FIGURAS
DESCRIPCIÓN

FIGURA		pp.
1	Estructura organizacional de Cargill S.R.L. (2023)	7
2	Estructura organizacional de Mantenimiento. (2023)	8
3	Matriz de Criticidad	25
4	Ejemplo Diagrama Causa-Efecto	26
5	Ejemplo de Diagrama Pareto	27
6	Pirámide de Taxonomía	29
7	Layout de PTAR Cargill de Venezuela S.R.L.	47
8	Taxonomia de PTAR	49
9	Causa-Raiz de paradas no programadas en equipos de bombeo.	56
10	Organización del AMEF	60
11	Matriz de Riesgo de criticidad	70
12	Ficha Técnica de Motores	75

ÍNDICE DE GAFRICOS
DESCRIPCIÓN

TABLA		pp.
1	Clasificación de activos	48
2	Distribución de activos en subsistemas	48
3	Diagrama de Pareto para sistema de bombeo	57
4	Diagrama de Gantt Mtto Correctivo	77

ÍNDICE DE CUADROS
DESCRIPCIÓN

CUADRO		pp.
1	Guion de entrevista	37
2	Cuadro de Operacionalizacion de variables	41
3	Cuadro del Instrumento de Observación	50
4	Expertos Entrevistados	51
5	Resultados de Entrevista a experto Argenis Lozada	52
6	Resultados de Entrevista a experto Rafael Blanco	53
7	Resultados de Entrevista a experto Jorge Lazo	54
8	Cuantificación de causa – raíz	57
9	Registro de paradas no programadas	58
10	Cálculos de MTTR, MTBF & Disponibilidad	59
11	Condiciones Operacionales.	61
12	. Número de prioridad de riesgo para cada modo de fallo	68
13	Guía de criterios para análisis de criticidad.	69
14	Hoja de decisión RCM	73
15	Diagrama de Gantt para Mtto Correctivo	76
16	Plan de Mtto preventivo para equipos de PTAR para el 2024.	78
17	Formato para Inspecciones semanales.	79
18	Listado de Repuesto	81
19	Evaluación Actual	85
20	Evaluación de Propuesta	85
21	Factibilidad ambiental.	87
22	Costes e ingresos de implementación de plan.	88
23	Beneficio/costo.	88

ÍNDICE DE CUADROS
DESCRIPCIÓN

CUADRO		pp.
I	Data de equipos por áreas del 2018 de Cargill S.R.L.	12
II	Data de Zonificación en Cargill S.R.L.	12
III	Data de áreas, procesos, prioridad y criticidad en PTAR	42
IV	Data de áreas, procesos, prioridad y criticidad en PTAR II	43
V	Función y estatus de activos	44
VI	(AMEF) del sistema de tratamiento de aguas residuales de Cargill.	62
VII	Análisis de Criticidad para equipos de PTAR	71



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**SISTEMA DE GESTION DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD EN LA
EMPRESA CARGILL S.R.L.**

Autor: Roal Arrieche

Tutor: José Álvarez

Fecha: octubre 2023

RESUMEN

El presente informe de pasantías tiene como objetivo desarrollar una propuesta de Sistema de Gestión Centrado en Confiabilidad (RCM) para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la empresa Cargill S.R.L. El enfoque principal de este plan es maximizar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos críticos de la PTAR, asegurando así un funcionamiento eficiente y sostenible de la planta. El estudio se fundamenta en la importancia del mantenimiento centrado en la confiabilidad como una estrategia efectiva para optimizar los recursos y minimizar los costos asociados al mantenimiento. Se realizó un análisis exhaustivo de los equipos y sistemas presentes en la PTAR, identificando aquellos de mayor criticidad y su impacto en la operación global de la planta. A partir de esta evaluación, se propone la implementación de un plan de mantenimiento basado en las mejores prácticas del RCM. Este enfoque implica la aplicación de técnicas de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo de manera selectiva y enfocada en los equipos de bombeo. Se establecen las frecuencias y actividades de mantenimiento específicas, así como los criterios de monitoreo y seguimiento para cada componente identificado. Por último, la aplicación del plan propuesto permite a Cargill S.R.L. (Grupo mimesa actualmente) optimizar sus operaciones, reducir los tiempos de inactividad no planificados, minimizar los costos de mantenimiento, mejorar la disponibilidad y evaluar la factibilidad de la propuesta la cual representa una contribución significativa al desarrollo sostenible de la empresa y al cumplimiento de las normativas ambientales vigentes.

Descriptores: Mantenimiento, Confiabilidad, Criticidad, Planificación, RCM.

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento industrial es el conjunto de actividades y estrategias que se llevan a cabo para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos y sistemas utilizados en la producción. Es esencial para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos y sistemas utilizados en los procesos productivos. La aplicación de estrategias de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo permite maximizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, reducir los costos de mantenimiento y evaluar la eficiencia operativa de la empresa.

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) es un enfoque probado y altamente efectivo para el desarrollo de estrategias de mantenimiento óptimas. Se centra en identificar y priorizar las funciones críticas de los equipos y sistemas, así como en implementar actividades de mantenimiento preventivo y predictivo para garantizar su rendimiento confiable a lo largo del tiempo.

El objetivo es tener una visión clara y práctica sobre la importancia de la metodología RCM en el contexto de las plantas de tratamiento de aguas residuales. La gestión efectiva del mantenimiento es esencial para garantizar la sostenibilidad y la eficiencia operativa a largo plazo de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales. El tratamiento adecuado de las aguas residuales es de vital importancia para preservar el medio ambiente, la salud pública y la calidad de vida de las comunidades circundantes.

En el caso específico de la planta de tratamiento de aguas residuales Cargill de Venezuela S.R.L, en Valencia, Venezuela, la implementación de la metodología RCM pudo brindar una serie de beneficios significativos. Al aplicar un enfoque sistemático y basado en datos, podemos maximizar la disponibilidad de los equipos, minimizar los costos operativos y de mantenimiento, reducir los tiempos de inactividad no planificados y optimizar la vida útil de los activos.

A lo largo de este informe de pasantías se explorarán los pasos clave de la metodología RCM y cómo se pueden adaptar y aplicar en la planta de tratamiento de aguas residuales Cargill S.R.L. Se evalúan y analizan los equipos y sistemas críticos, identificaremos los modos de falla potenciales y evaluaremos las estrategias de mantenimiento existentes. Con base en este análisis, propondremos recomendaciones específicas para mejorar la confiabilidad y el rendimiento de la planta.

Por su parte el capítulo I, explica todo lo referente a la empresa y departamento donde se realizará el estudio, su historia, valores, estructura organizativa, objetivos y otros aspectos relacionados que se requieren conocer para conocer de forma general a la organización.

Asimismo, el capítulo II, llamado el problema, consiste en plantear la problemática a tratar en la investigación, el problema encontrado durante el inicio del estudio, los objetivos del mismo, la justificación de la investigación, así como también las limitaciones y el alcance que tendrá la misma.

En este mismo contexto, el capítulo III consiste en el marco teórico, en este se presentan los antecedentes, que consisten en la revisión de estudios relacionados llevados a cabo previamente sobre la temática del estudio, también se presenta el desarrollo de la teoría relacionada al mismo y se definen los términos básicos que son necesarios conocer para un mejor entendimiento del trabajo.

En el capítulo IV, se presenta el marco metodológico, donde se define la metodología a utilizar para el cumplimiento de los objetivos, se establece el tipo y nivel de la investigación, las técnicas e instrumentos a utilizar y las fases metodológicas para la consecución de los objetivos. Adicionalmente, en el capítulo V se desarrollan las fases metodológicas y estructura del informe de pasantías, alcanzado las tareas y objetivos planteadas en las fases a desarrollar.

CAPÍTULO I

LA EMPRESA

1.1 Descripción De La Empresa

Cargill de Venezuela S.R.L es una compañía manufacturera que pertenece al sector de alimentos. Su enfoque principal es la producción a gran escala de productos que sirven como materia prima para otras empresas. Estos productos incluyen cajas de manteca en tamaños de 10 kg y 15 kg, así como alimentos de consumo básico destinados a supermercados y otros distribuidores comerciales. Entre estos productos se encuentran diversas presentaciones de aceite para cocinar Vatel, disponibles en formatos de 250 ml, 500 ml, 1 litro y 2 litros.

1.1.1 Ubicación de La Empresa

Cargill S.R.L. es una empresa multinacional que opera en diversos países y tiene una presencia global. A nivel macro, Cargill es una compañía de alcance mundial, con oficinas y plantas de producción distribuidas en múltiples regiones y continentes.

Cargill de Venezuela S.R.L es una empresa que opera diversas plantas en el país, las cuales se dedican a la producción de productos específicos. Estas plantas se encuentran ubicadas en diferentes regiones de Venezuela, como Maracaibo y Los Olivitos en el Estado Zulia, La Encrucijada y Coropo en el Estado Aragua, y Catia La Mar y Caracas. La siguiente investigación se centra en la Planta Valencia, situada en la Zona Industrial Norte, específicamente en la carretera nacional Los Guayos, av.67, en el Estado Carabobo.

1.1.2 Razón Social

Cargill de Venezuela S.R.L.

1.1.3 Reseña Histórica

Cargill es una empresa multinacional con una larga y exitosa historia. Es una compañía multinacional líder en la industria de alimentos y agrícola. En Venezuela, ha desempeñado un papel destacado en la fabricación y comercialización de una amplia variedad de productos alimenticios, y ha fortalecido su posición en el mercado a través de adquisiciones estratégicas y alianzas comerciales.

Cargill es una empresa multinacional con una larga y exitosa historia. Fue fundada en 1895 por los hermanos William y Sam Cargill como una productora y distribuidora de granos.

A lo largo de los años, Cargill ha experimentado un crecimiento significativo y ha expandido sus operaciones a nivel internacional. En la actualidad, cuenta con más de 130,000 empleados en 66 países y tiene su sede principal en Minnesota, Estados Unidos. Se ha convertido en una de las mayores empresas privadas de Estados Unidos y tiene una gran influencia en todo el mundo.

En la década de los 80, Cargill ingresó al mercado latinoamericano y estableció su presencia en Venezuela como "Cargill de Venezuela C.A.". Inició sus operaciones en marzo de 1986 en la ciudad de Maracaibo, Estado Zulia, a través de una asociación con "Mimesa C.A." para formar "Agroindustrial Mimesa", dedicada a la fabricación de harinas y pastas alimenticias. Posteriormente, en 1988, adquirió "Pastificio Universal" en Puerto La Cruz, Estado Anzoátegui, y en 1989 compró "Pillsbury de Venezuela" en Catia La Mar, que incluía molinos de harina y una línea de producción de pasta. Estas adquisiciones permitieron a Cargill de Venezuela expandirse y consolidarse en el mercado nacional.

A lo largo de los años, Cargill de Venezuela continuó su crecimiento y adquisiciones estratégicas. En 1990, adquirió "La Torre del Oro" en Turmero, Estado Aragua, para ingresar al negocio de aceites refinados. También incursionó en el negocio del arroz al comprar la finca "Puente Leña" en Píritu, Estado Portuguesa.

En la década de los 90, adquirió las plantas aceiteras de "Mavesa" en Valencia y Puerto Cabello, Estado Carabobo, así como las reconocidas marcas de alimentos "Vatel", "Branca", "Los Tres Cochinitos" y "Tresco". Además, compró la planta productora de arroz Santa Ana en San Carlos, Estado Cojedes, y se asoció con "Pequiven" para construir la salina "Produsal" en Los Olivitos, Estado Zulia.

Cargill de Venezuela se consolidó como uno de los principales proveedores de alimentos en el país y amplió su oferta con la adquisición de "Gramoven". También incursionó en el negocio de alimentos para mascotas en Barquisimeto, Estado Lara, y se asoció con "Agribands International" para fortalecer su posición en el mercado de alimentos para animales. Durante este período, la empresa también abrió el "Centro de Formación e Inclusión Laboral Engranados" en alianza con la "Asociación para el Desarrollo de la Educación Especial Complementaria (ASODECO)", brindando oportunidades de empleo a personas con diversidad funcional.

En los últimos años, Cargill de Venezuela ha continuado su crecimiento y expansión, inaugurando el Jardín Xerofítico Los Yabos en las instalaciones de la planta "Produsal" y

estableciendo "Espacios Curvi" en Caracas, salas con tecnología avanzada diseñadas para fomentar la creatividad y el trabajo en equipo.

En 2016, la empresa celebró sus 30 años de compromiso con el crecimiento alimentario del país. En 2017, en colaboración con "BioAgro", introdujo la siembra de trigo tropical "Casiquiare" en los Valles de Tucutunemo, Estado Aragua, promoviendo la producción agrícola nacional. Además, lanzó al mercado el aceite comestible a base de canola "Purilev", reconocido por su bajo contenido de grasa saturada.

En 2019, Cargill de Venezuela inició un programa de responsabilidad social en alianza con el "Dividendo Voluntario para la Comunidad". En 2021, la empresa fue adquirida oficialmente por el Grupo Finex Global Investments y comenzó su transición de Cargill de Venezuela a Grupo Mimesa, un proceso que se completó en 2023.

1.2 Misión, Visión, Principios Valores de la Empresa

1.2.1 Misión

“Crear un valor distintivo enfocado hacia el negocio y establecer relaciones sólidas con los clientes y demostrar una actitud orientada a brindar soluciones.”

1.2.2 Visión

“Ser el líder mundial en la nutrición de personas. El enfoque, ser confiables, creativos y emprendedores. Las medidas de rendimiento, empleados comprometidos, clientes satisfechos, comunidades desarrolladas y un crecimiento rentable.”

1.2.3 Valores

- **Agilidad:** Pensamos y actuamos con rapidez y eficacia para lograr lo que nos proponemos. Nos adaptamos con facilidad al cambio y hacemos que las cosas pasen para que el cliente quede satisfecho
- **Integridad:** Hacemos lo correcto, siendo coherentes entre lo que decimos y lo que hacemos.
- **Responsabilidad:** Cumpliendo todas las expectativas y pedidos del cliente tal cual lo requiera.
- **Respeto:** Las personas van primero, somos inclusivos y valoramos las diferencias, cuidamos a los nuestros.

- Puntualidad: Implementando entregas a tiempo de los productos, resguardándolos de cualquier daño que pueda ocurrir en el traslado de estos.
- Excelencia. La calidad llevada al máximo, eso es la excelencia. Si se exige dar lo mejor, se puede dar lo mejor. Y que un cliente y un empleado vean que se le ofrece algo excelente les impulsará a quedarse.

1.2.4 Principios

- Política de la Inocuidad de los alimentos
- Política de Calidad Mimesa
- Política de Calidad de Laboratorios.
- Política de Protección de Información.
- Política de Seguridad, Salud y Medio Ambiente.
- Política de Seguridad Patrimonial.

1.3 Mercados

Cargill de Venezuela S.R.L. asiste a diversos mercados tanto a nivel nacional como internacional. A nivel nacional, la empresa abastece y atiende diferentes sectores y segmentos de la industria alimentaria y agrícola en Venezuela. Entre los mercados que asiste se encuentran el sector de alimentos procesados, productos lácteos, aceites y grasas, alimentos balanceados para animales, productos avícolas, alimentos para mascotas, entre otros.

En cuanto al ámbito internacional, Cargill de Venezuela S.R.L. también exporta sus productos y servicios a distintos países. A través de su red global, la empresa participa en el comercio internacional de commodities agrícolas y alimentos, brindando soluciones y suministros a clientes y socios comerciales en diferentes partes del mundo. Es importante destacar que los mercados a los que asiste la empresa pueden variar en función de la demanda, las necesidades del mercado y las estrategias comerciales de Cargill de Venezuela S.R.L.

1.4 Estructura Organizativa de Planta

Cargill de Venezuela S.R.L. cuenta con una estructura organizativa jerárquica que se divide en varios niveles y departamentos funcionales para garantizar una gestión eficiente y coordinada de sus operaciones. A continuación, se presenta una descripción de los principales elementos de su estructura:



Fig 1. Estructura organizacional de Cargill S.R.L. (2023)

Fuente: Share Point de Grupo mimesa

1.4.1 Descripción del Departamento donde se desarrolla la Pasantía

El departamento de Mantenimiento en Cargill de Venezuela SRL, Planta Valencia, desempeña un papel crucial en el funcionamiento eficiente y confiable de las instalaciones de la empresa. Este departamento se encarga de garantizar que todos los equipos y maquinarias utilizados en los procesos de producción estén en óptimas condiciones, minimizando así el riesgo de fallas y maximizando la disponibilidad de los activos.

El objetivo principal del departamento de Mantenimiento es llevar a cabo actividades de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo para garantizar la continuidad operativa de la planta. Esto implica la planificación y ejecución de rutinas de inspección, lubricación, limpieza y ajuste de equipos, así como la realización de reparaciones y reemplazos necesarios.

El personal del departamento de Mantenimiento está compuesto por un equipo de técnicos y especialistas altamente capacitados en diferentes disciplinas, como mecánica, electricidad, instrumentación y control. Estos profesionales trabajan en estrecha colaboración con otros departamentos, como Producción e Ingeniería, para coordinar y programar las actividades de mantenimiento de manera eficiente.

El departamento de Mantenimiento también se encarga de gestionar y controlar los repuestos, herramientas y equipos necesarios para llevar a cabo las tareas de mantenimiento. Esto implica el seguimiento de inventarios, la gestión de proveedores y la planificación de adquisiciones, con el objetivo de asegurar la disponibilidad de los recursos necesarios en el momento adecuado.

Además de las labores diarias de mantenimiento, el departamento también se involucra en proyectos de mejora continua y optimización de los procesos. Esto implica la identificación de áreas de oportunidad, el diseño e implementación de nuevas estrategias de mantenimiento y

la evaluación de tecnologías emergentes que puedan mejorar la eficiencia y confiabilidad de los equipos.

En pocas palabras, el departamento de Mantenimiento en Cargill de Venezuela SRL, Planta Valencia, desempeña un papel fundamental en el aseguramiento del correcto funcionamiento de los equipos y maquinarias utilizado en los procesos de producción. A través de actividades de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo, el departamento busca maximizar la disponibilidad operativa y minimizar los tiempos de inactividad, contribuyendo así al logro de los objetivos de la empresa en términos de calidad, seguridad y productividad.

1.4.2 Estructura Organizativa del Departamento



Fig 2. Estructura organizacional de Mantenimiento. (2023)

Fuente: Share Point de Grupo mimesa

- Gerente de Mantenimiento:

Descripción del cargo: Responsable de liderar y coordinar las actividades de mantenimiento en la planta.

- Supervisores de Mantenimiento:

Descripción del cargo: Encargados de supervisar y dirigir las actividades diarias del equipo de mantenimiento, incluyendo la supervisión del almacén.

- Instrumentistas:

Descripción del cargo: Técnicos especializados en el mantenimiento y calibración de instrumentos y sistemas de control.

Además, dentro del departamento de Mantenimiento, existen roles específicos como Supervisor de Almacén, Planificador, supervisores eléctricos y mecánicos , coordinadores de

servicios industriales o generales, especialistas de control de inventario y distribución de materiales y herramientas utilizados en el mantenimiento.

1.4.3 Departamento de Mantenimiento

El departamento de Mantenimiento en Cargill de Venezuela SRL, Planta Valencia, tiene la responsabilidad de asegurar el correcto funcionamiento y conservación de una amplia variedad de áreas y equipos dentro de la empresa se encarga de diversas áreas y equipos, entre los cuales se incluyen:

- Área de Basura: Este espacio se encarga de la gestión adecuada de los residuos generados en la planta, asegurando su correcta disposición y cumplimiento de las normativas ambientales.
- Áreas verdes y de desmalezado de planta general: Estas áreas son mantenidas y cuidadas para garantizar un entorno limpio y estéticamente agradable en la planta.
- Edificio de gerencia y edificio de proyectos: El departamento de Mantenimiento se encarga del mantenimiento y conservación de estos edificios, asegurando su buen estado y funcionalidad.
- Vialidad y accesos de planta: El departamento de Mantenimiento se encarga del mantenimiento de las vías y accesos dentro de la planta, asegurando su adecuado estado para el tránsito seguro de vehículos y peatones.
- Baños: El departamento de Mantenimiento es responsable del mantenimiento y limpieza de los baños, garantizando su correcto funcionamiento y condiciones higiénicas.

Además, el departamento de Mantenimiento gestiona diversos almacenes que contienen piezas, herramientas y materiales necesarios para el mantenimiento de la planta. Estos almacenes incluyen:

- Almacén de piezas y herramientas.
- Almacén de desuso.
- Almacén de algodón (Lado Mantenimiento).
- Almacén de obsequios.
- Almacén de químicos de PTAR y caldera.
- Almacén de sal.

- Almacén de aceite mineral.
- Almacén de contenedores vacíos.
- Almacén de aceite grado alimenticio.

El proceso de las funciones del departamento de Mantenimiento generalmente sigue los siguientes pasos:

- Planificación: Se identifican las actividades de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo necesarias para garantizar el buen funcionamiento de los equipos y áreas.
- Programación: Se establecen los tiempos y recursos requeridos para llevar a cabo las actividades de mantenimiento de acuerdo con las prioridades y disponibilidad de recursos.
- Ejecución: Se llevan a cabo las actividades de mantenimiento planificadas, como inspecciones, lubricaciones, ajustes, reparaciones y reemplazos de equipos o componentes.
- Registro y documentación: Se registra y documenta la información relevante sobre las actividades de mantenimiento realizadas, incluyendo los resultados, observaciones, acciones tomadas y recomendaciones para futuras mejoras.
- Seguimiento y control: Se monitorean los indicadores de desempeño, como el tiempo de actividad, el tiempo de inactividad no programada y los costos asociados al mantenimiento, para evaluar la efectividad de las acciones implementadas y realizar ajustes si es necesario.
- Mejora continua: Se identifican oportunidades de mejora en los procesos de mantenimiento, se analizan los resultados obtenidos y se implementan acciones correctivas o preventivas para optimizar la eficiencia y confiabilidad de los equipos y áreas.

CAPÍTULO II

EL PROBLEMA

2.1 Planteamiento del problema

La soya es una de las principales fuentes de proteína vegetal y se utiliza en una amplia variedad de productos alimenticios, como aceites, margarina, leches vegetales, tofu, entre otros. El aceite de soya es uno de los productos más importantes que se obtienen de la soya, y se utiliza en la elaboración de alimentos procesados, como snacks, galletas, panes, entre otros. Además, el aceite de soya es una fuente importante de ácidos grasos esenciales, como el ácido linoleico y el ácido oleico, que son beneficiosos para la salud.

Cargill cuenta con una amplia experiencia en la producción y comercialización de aceite de soya, y utiliza tecnologías avanzadas para garantizar la calidad y seguridad de sus productos. Además, Cargill se enfoca en la sostenibilidad y la responsabilidad social en su producción de soya y aceite de soya, trabajando en colaboración con los agricultores y las comunidades locales para promover prácticas agrícolas sostenibles y mejorar la calidad de vida de las personas.

La empresa es reconocida en el mercado por su producción y comercialización de alimentos y productos agrícolas de alta calidad. Sin embargo, la falta de un manual de mantenimiento actualizado para los equipos de su planta ha generado problemas en el mantenimiento preventivo y correctivo de los mismos, lo que afecta su rendimiento y su vida útil.

El mantenimiento de los equipos de planta es fundamental para garantizar la confiabilidad, disponibilidad y eficiencia en la producción de Cargill S.R.L. Sin embargo, el manual de mantenimiento actual no cuenta con una metodología sistemática para la identificación de los equipos críticos, evaluación de los modos de falla y definición de las actividades de mantenimiento preventivo. Esto puede generar un aumento en el riesgo de fallas graves y paradas no planificadas de los equipos críticos, lo que afecta la producción y la rentabilidad de la empresa.

Por lo tanto, se plantea la necesidad de actualizar el manual para mantenimiento de equipos de planta mediante la metodología RCM con el fin de mejorar la confiabilidad, disponibilidad y eficiencia de los equipos críticos y reducir el riesgo de fallas graves y paradas no planificadas. La empresa cuenta con una lista de activos no actualizados desde el 2018, donde se pueden identificar las áreas de trabajo, tipos de activo y cantidad.

Tabla 1. Data de equipos por áreas del 2018 de Cargill S.R.L.

EQUIPOS INDUSTRIALES DE CARGILL S.S.A.	
ÁREA	CANTIDAD DE EQUIPOS
PROCESO	495
MTTO	129
ENVASADO	270
LOGÍSTICA	-
CALIDAD	-
SST	-
GERENCIA	-
894	

Fuente: Share Point de Grupo mimesa (2018)

La empresa poseía en actividad 894 equipos en planta para el 2018, tras 5 años de haber sufrido cambios administrativos, operacionales y organizacionales, surge la necesidad de actualizar el listado para colaborar que equipos de encuentro en operatividad y cuales han sido reemplazados, en continuidad que se actualiza la data también se refleja el grado de criticidad que posee los activos para el área que se desenvuelven.

Todos los equipos están distribuidos por códigos y áreas de trabajo, se observa que con los cambios que se han presentado en los últimos años en Cargill S.R.L. Se desactualizo la data de los equipos reemplazando algunos y activando nuevos. Para poder distinguir la ubicación de cada equipo se clasifica por área y subárea específica, siendo las más críticas:

Tabla 2. Data de Zonificacion en Cargill S.R.L.

Zonificación de Housekeeping Índice			
Zona Negra	Área de Basura, Áreas verde y de desmalezado de planta general, edificio de gerencia, edificio de proyectos, servicio medico archivo muerto de contraloría, vialidad y accesos de planta, baños..	Departamento de Mantenimiento	Gerente de Mantenimiento
			Sup. de Serv Generales

Continuación de tabla 2: Data de zonificación

Zona Roja	Almacén de piezas y herramientas , almacén de desuso, almacén de algodón (Lado Mtto), almacén de obsequios, pozo 1 y 2 , almacén de químicos de PTAR y caldera, almacén de sal , almacén de aceite mineral, almacén de contenedores vacíos, extracción mecánica, caldera, torre de enfriamiento, tanque de agua industrial, PTAR, Trampas de grasa, planta de emergencia, área del sistema contra incendio, taller de mantenimiento, almacén de aceite grado alimenticio, planta en desuso generadora de hidrogeno., CCM caldera, CCM PTAR, CCM Servicios.	Departamento de Mantenimiento	Gerente de Mantenimiento
			Sup. de Serv Industriales
			Sup. de Almacén
			Supervisor de Mtto Env
			Supervisor de Mtto Procesos
			Planificadora
			Jefe de Mantenimiento
Zona Amarilla	Áreas verde, estacionamiento general, caney, centro CAF, baños, comedor, área de recreación, vigilancia, recepción.	Departamento de Mantenimiento	Gerente de Mantenimiento
			Sup. de Serv Generales
Zona Naranja (Aceite) (Manteca)	Área de recuperación de aceites, envasado 18Lts, y manteca, oficina de envasado. Tanquera 7001 - 7003, área de servicios de manteca, área de basura (servicios de manteca), Mezzanina área de manteca, área de Picking.	Departamento de Envasado	Gerente de Envasado
	Envasado PET, baños (frente a edificio de gerencia), vestuario de envasado, almacén de preformas, mezzanina de tapas, área de soplado Krones, área de compresores de aire, CCM PET,		Supervisores de Envasado (Hacer distribución de las áreas para el cumplimiento del mantenimiento y limpieza) y modificación del procedimiento.

Continuación de tabla 2: Data de zonificación

	CCM Krones, Oficina de operadores, tanquera 7004 - 7006, área de supermaquina, área de desperdicio de cartón, plástico y basura.		
Zona Marron	Tanqueria 1000 y 2000, Silo de Copra, caseta de SCI, almacén de insumos, tanqueria de químicos , tanqueria A-500 y B-500, hidrogenación, refinería, laboratorio, desodorizador, carga de gandolas, estacionamiento de gandolas (lado desodorizador) , tanqueria C.60, tanqueria 5000 de aceite y manteca, área de descarga de crudo, almacén de tierras usadas.	Departamento de Procesos	Gerente de Procesos
			Supervisores de procesos (Hacer distribución de las áreas para el cumplimiento del mantenimiento y limpieza) y modificación del procedimiento.
Zona Azul	Almacen de mantecas y 18 Lts, Linter, almacen de producto terminado PET, Silo de algodón, anden de carga, baños de logisitca y vestuario de logisitica, oficinas de logisitica, sala de transportistas, area de paletas, pasillo de acceso a las oficinas de logisitica (almacen de Traspaletas y montacargas), area de material de empaque, area de suministro de GAS, estacionamiento de gandola (frente almacén de quimicos), romanas 1 y 2 , andenes de carga, archivo muerto de logisitica.	Departamento de Logisitica	Gerente de Logística
			Supervisores de Logisitica (Hacer distribucion de las areas para el cumplimiento del mantenimiento y limpieza) y modificacion del procedimeinto.

Fuente: Share Point de Grupo mimesa (2018)

Tomando en cuenta las áreas que poseen equipos y la forma en que se organizan los activos, se plantea elaborar el levantamiento y aplicar la metodología a la zona roja que abarca servicios industriales del departamento de mantenimiento que engloba las áreas de PTAR. Toda planta de aceite requiere una planta de tratamiento de aguas residuales porque la producción de aceite genera una gran cantidad de aguas residuales que contienen una variedad de contaminantes, como grasas, aceites, sólidos suspendidos y productos químicos. Estos contaminantes pueden ser perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana si no se tratan adecuadamente.

La planta de tratamiento de aguas residuales es esencial para tratar y eliminar los contaminantes presentes en las aguas residuales generadas por la producción de aceite. El tratamiento de las aguas residuales incluye procesos físicos, químicos y biológicos que permiten eliminar los contaminantes y reducir la carga contaminante del agua antes de su descarga al medio ambiente.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales es considerada un activo crítico porque su correcto funcionamiento es esencial para garantizar el cumplimiento de las regulaciones ambientales y la protección del medio ambiente y la salud pública, es responsable de tratar y eliminar los contaminantes presentes en las aguas residuales generadas por la producción industrial y las actividades humanas.

Si PTAR no funciona correctamente, las aguas residuales pueden contener contaminantes peligrosos que pueden tener un impacto negativo en el medio ambiente y la salud pública además, es una zona con rango crítico porque su falla puede tener un impacto significativo en la producción industrial, la parada de la fábrica y la rentabilidad de la empresa.

Por lo tanto, es esencial que la PTAR se mantenga en óptimas condiciones de funcionamiento y se realice un mantenimiento preventivo y predictivo adecuado para garantizar su disponibilidad y confiabilidad. La implementación de estrategias de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) y la monitorización continua de los equipos críticos de la PTAR son esenciales para garantizar su correcto funcionamiento y minimizar el riesgo de falla.

Asimismo, la empresa no lleva un registro cuantificado de los activos y subsistemas que son parte del sistema de PTAR de la misma manera no se registran las fallas de paradas ni tiempos desde el 2017, se requiere realizar un levantamiento de equipos que poseen y las condiciones en las cuales se encuentran, el nivel de criticidad de las bombas y motores evaluando las causas de los fallos de cada uno, asimismo, no posee una planificación o propuesta de mantenimiento preventivo que le permita la reducir las paradas no programadas de la planta a corto, medio y

largo plazo, es por ello que, el proceso de producción se mantendrá con un elevado riesgo de paradas si no se traza un plan de mantenimiento lo más pronto posible que le permita mejorar la eficiencia del proceso.

Por lo mencionado anteriormente, es conveniente realizar un levantamiento de PTAR para idéntica los activos que se poseen operativos críticos y no críticos. Diagnosticar las causas de las paradas no programadas de los equipos y ver cuales requieren mantenimiento predictivo, preventivo o correctivo. Realizar un análisis e interpretación de información recopilada para realizar una propuesta con ayuda de las herramientas de ingeniería industrial, que permita solucionar o reducir el problema mencionado anteriormente.

2.2 Formulación del problema

Ante la problemática se plantea la siguiente interrogante:

¿Cómo elaborar un sistema de gestión basado en la confiabilidad en Cargill de Venezuela S.R.L. mediante la metodología RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad), con el objetivo de optimizar los procesos de mantenimiento, evitar paradas por fallas, mejorar la confiabilidad y prolongar la vida útil de los equipos?

2.3 Objetivos de la investigación

2.3.1 Objetivo General

Elaborar un sistema de gestión centrado en confiabilidad en la empresa CARGILL de Venezuela S.R.L. en PTAR de servicios industriales para la reducción de las paradas no programadas y registro de los equipos críticos del proceso de tratamiento.

2.3.2 Objetivos Específicos

- Diagnosticar el estado que se encuentran los equipos de la planta de tratamientos de aguas residuales así como sus aspectos técnicos, condiciones y fallas.
- Analizar las causas de fallos que presenta la PTAR de Cargill S.R.L. mediante un análisis AMEF
- Diseñar sistema de gestión centrado en la confiabilidad para los equipos de la PTAR de Cargill S.R.L
- Evaluar la factibilidad operativa, técnica, económica y ambiental del sistema diseñado.

2.4 Justificación de la Investigación

La elaboración de un sistema de gestión de mantenimiento para los de equipos de planta de Cargill S.R.L. mediante la metodología RCM es necesaria debido a que la empresa no cuenta con una metodología sistemática para la identificación de los equipos críticos, evaluación de los modos de falla y definición de las actividades de mantenimiento preventivo. Esta situación puede generar un aumento en el riesgo de fallas graves y paradas no planificadas de los equipos críticos, lo que afecta la producción y la rentabilidad de la empresa.

Por lo tanto, el diseño de un sistema de gestión en mantenimiento permitirá mejorar la confiabilidad, disponibilidad y eficiencia de los equipos críticos y reducir el riesgo de fallas graves y paradas no planificadas, lo que se traducirá en una mayor productividad y rentabilidad para la empresa. Además, la investigación permitirá aplicar y validar la propuesta en la empresa, lo que puede servir como referencia para futuras gestiones en otras áreas de la empresa.

Por lo mencionado anteriormente, la aplicación de la metodología RCM a la PTAR en Cargill de Venezuela S.R.L. es importante porque permite diseñar un sistema de gestión con el cual se busca maximizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos críticos de la planta, reducir los costos de mantenimiento y mejorar la eficiencia operativa de la planta, lo que se traduce en una mayor rentabilidad y competitividad en el mercado.

2.5 Alcance

La investigación incluirá la elaboración de un sistema de gestión en mantenimiento de equipos de planta de Cargill S.R.L. mediante la metodología RCM, para mejorar la confiabilidad, disponibilidad y eficiencia de los equipos críticos y reducir el riesgo de fallas graves y paradas no planificadas. Se enfocará en la identificación de los equipos críticos, la evaluación de los modos de falla y la definición de las actividades de mantenimiento preventivo necesarias para reducir el riesgo de fallas. Además, se desarrollará un plan de mantenimiento preventivo para cada equipo crítico, al mismo tiempo que impactará a la empresa y organización en forma directa al ejecutar el proyecto, involucrando directamente las personas que trabajan en el área de PTAR y Servicios industriales en departamento de mantenimiento e indirectamente a todo personal que cumple alguna función en la empresa.

2.6 Limitaciones

La información proporcionada por la empresa está sujeta a la disponibilidad de registros y reportes que esta tenga disponible. El registro de fallos y paradas no programas no se actualiza desde el 2018.

CAPÍTULO III

MARCO TEORICO

3.1 Antecedentes

Según Arias (2012) los antecedentes “reflejan los avances y el estado actual del conocimiento en un área determinada y sirven de modelo o ejemplo para futuras investigaciones”.

Negrinho, Paola. (2021) realizó un trabajo de grado titulado: **“Plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para la maquinaria de la empresa Concretos los Llanos, C.A.”**, para optar al título de Ingeniera Industrial en la Universidad José Antonio Paéz, ubicada en San Diego, Carabobo, Venezuela. El objetivo general del trabajo era proponer un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para la maquinaria de concretos los llanos c.a. Se trató de un trabajo tipo proyecto factible donde luego de aplicar el análisis modal de fallos y efectos y análisis de criticidad, se elaboró una propuesta de mantenimiento cuya implementación sería capaz de aumentar la eficiencia general de los equipos, la producción y disminuir los costos de mantenimiento.

La investigación buscó la elaboración de rutinas de mantenimiento, alcanzando cada uno de los objetivos planteados, lo que permitió la formulación completa de la propuesta, la cual cubre la mayor cantidad de información detallada, útil y necesaria en el proceso de mantenimiento, convirtiéndose en una herramienta para implementar un plan preventivo. Además se elaboraron los indicadores de gestión para que la empresa tenga control sobre sus procesos, de esta manera se disminuyen los tiempos de parada por falla y se aumentó la productividad.

Otra investigación de interés, fue la desarrollada por Gomez Jesus (2021). Realizo un trabajo de grado titulado: **“Plan De Mantenimiento Centrado En Confiabilidad Para La Empresa Molinos Carabobo S.A”**, para optar al título de Ingeniero Industrial en la Universidad Jose Antonio Paez, San Diego; Carabobo.. El objetivo general fue aplicar la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en la empresa Molinos Carabobo S.A. para mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos críticos, reducir los costos de mantenimiento y mejorar la eficiencia operativa. Para lograr esto, se realizó un análisis detallado de los equipos críticos de la empresa y se establecieron estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo para maximizar su disponibilidad y confiabilidad. Además, se implementó un sistema

de monitoreo continuo de los equipos críticos para detectar posibles fallas y se establecieron planes de mantenimiento para minimizar el riesgo de fallas y maximizar la vida útil de los equipos.

Gomez obtuvo resultados de la tesis que demostraron una mejora significativa en la disponibilidad y confiabilidad de los equipos críticos de la empresa, así como una reducción en los costos de mantenimiento y una mejora en la eficiencia operativa. La aplicación de la metodología RCM permitió establecer estrategias de mantenimiento más eficientes y efectivas, lo que se tradujo en una mayor rentabilidad y competitividad en el mercado para la empresa Molinos Carabobo S.A. La tesis de Jesús Gómez proporcionó un plan de mantenimiento efectivo y eficiente para la empresa, lo que puede mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos críticos y reducir los costos de mantenimiento.

Por otro lado, Salcedo, Gutiérrez C., (2019) realizó una tesis titulada: “Plan de gestión de mantenimiento basado en la metodología RCM para mejorar la disponibilidad de bombas concreteras putzmeister. Caso: Concretos Supermix S.A.” para optar al Grado Académico de Maestro en Ciencias: Ingeniería de Mantenimiento con mención en Gerencia de Mantenimiento en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa ubicada en Arequipa– Perú; en la cual se propuso dicho plan enmarcado en una investigación exploratoria, tomando como población la flota de bombas concreteras Putzmeister de la empresa Concretos Supermix S.A y pudo determinar mediante entrevistas y observación de campo que un equipo confiable y con buen mantenimiento proporciona un alto grado de disponibilidad y mejora la calidad y el cumplimiento de los horarios de servicio planificados.

Esta investigación aporta información sobre cómo realizar un plan de mantenimiento que permite la reducción de la tasa de fallos, basado en el análisis de los equipos usando la metodología basada en confiabilidad, lo cual es un gran sustento en la reducción de tiempo de paradas y tasa de fallas.

3.2 Teorías Asociadas a la Investigación

3.2.1. Teorías de Sistemas

Von Bertalanffy, L. (1976). Se conoce como Teoría de sistemas o Teoría General de Sistemas al estudio de los sistemas en general, desde una perspectiva interdisciplinaria, o sea, que abarca distintas disciplinas. Su aspiración es identificar los diversos elementos y tendencias identificables y reconocibles de los sistemas, o sea, de cualquier entidad claramente definida, cuyas partes presentan interrelaciones e interdependencias, y cuya suma es mayor que la suma de sus partes. Según esta teoría, todo sistema se compone de:

- **Entradas, insumos o inputs.** Que son aquellos procesos que incorporan información, energía o materia al sistema, proviniendo del afuera.
- **Salidas, productos o outputs.** Que son lo obtenido mediante el funcionamiento del sistema y que por lo general salen del sistema al medio externo.
- **Transformadores, procesadores o throughput.** Mecanismos del sistema que producen cambios o convierten entradas en salidas.
- **Retroalimentación.** Aquellos casos en que el sistema convierte sus salidas en entradas.
- **Medio ambiente.** Todo lo que rodea al sistema y existe fuera de él, lo cual a su vez constituye un sistema dentro de otro sistema y así hasta el infinito.

3.2.2. Teoría de Restricciones

Martins, J. (2021). La teoría de las restricciones, en inglés Theory of Constraints o simplemente TOC, se basa en el proverbio del eslabón más débil para ayudarte a identificar el eslabón más débil de un proyecto o proceso. Al arreglar ese eslabón, puedes fortalecer todo el proyecto. La teoría de las restricciones o limitaciones se introdujo por primera vez en La meta, best-seller escrito por el físico israelí Eliyahu

M. Goldratt. Aunque es ficción, el libro se centra en los cuellos de botella durante los procesos de gestión de operaciones y proceso de producción, y sugiere la teoría de las

restricciones como el factor limitante más grande que impide que las empresas logren sus objetivos.

3.3 Bases Teóricas

3.3.1 Mantenimiento

García-Díaz (2019), establece que el mantenimiento ““Es el conjunto de acciones necesarias para mantener en buen estado de funcionamiento, conservar y reparar los equipos, instalaciones y edificios, con el fin de asegurar su disponibilidad, confiabilidad y seguridad, y prolongar su vida útil”

3.3.2 Mantenimiento Industrial

Lindley R. (2002) El mantenimiento industrial es un conjunto de actividades que se llevan a cabo en el ámbito industrial para asegurar el correcto funcionamiento de los equipos, maquinarias, instalaciones y sistemas. Estas actividades incluyen inspecciones, reparaciones, reemplazos, ajustes, limpieza y mejoras, entre otras, con el objetivo de garantizar la disponibilidad, confiabilidad y eficiencia de los activos industriales a lo largo de su vida útil.”

Es imprescindible analizar la importancia del mantenimiento industrial, es un componente crítico en el ámbito de la ingeniería industrial. A través de un enfoque adecuado de mantenimiento, se pueden lograr altos niveles de disponibilidad y confiabilidad de los activos, lo que contribuye directamente a la eficiencia operativa y a la maximización de los resultados en una empresa industrial.

3.3.3 Tipos de mantenimiento

3.3.3.1 Mantenimiento preventivo

Morales (2008). En las operaciones de mantenimiento, el mantenimiento preventivo es el destinado a la conservación de equipos o instalaciones mediante la realización de revisión y limpieza que garanticen su buen funcionamiento y fiabilidad. El mantenimiento preventivo se realiza en equipos en condiciones de funcionamiento, por oposición al mantenimiento correctivo

que repara o pone en condiciones de funcionamiento aquellos que dejaron de funcionar o están dañados.

3.3.3.2 Mantenimiento correctivo

Según la Norma COVENIN 3049-43, el mantenimiento correctivo es el que “comprende las actividades de todo tipo encaminadas a tratar de eliminar la necesidad de mantenimiento corrigiendo las fallas de una manera integral a mediano plazo.”

3.3.3.3 Mantenimiento predictivo

Barrada Beltran (2015), las tareas de mantenimiento predictivo “El mantenimiento predictivo se aplica generalmente a máquinas donde un fallo causa un problema de seguridad, el fallo catastrófico de la máquina o provoca una parada de la producción. ” (p.15). En otras palabras, el mantenimiento predictivo se aplica con el objetivo de conocer y monitorear el estado de los equipos más indispensables de una empresa, con el fin de saber su estado actual de funcionamiento y posibles fallos.

3.3.4 Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) o RCM (Reliability Centred Maintenance), fue creado inicialmente con el objetivo de mejorar la seguridad y la confiabilidad de los equipos de la industria de la aviación. A través de los años, ha sido empleado en diferentes áreas de trabajo con el propósito de formular estrategias de mantenimiento de activos físicos, en casi todos los países industrializados. (SAE, 2002)

El RCM es una metodología utilizada en la gestión de mantenimiento industrial que se centra en la confiabilidad de los activos. Consiste en un enfoque sistemático para identificar y aplicar las estrategias de mantenimiento más efectivas y eficientes, con el objetivo de maximizar la disponibilidad operativa de los equipos y minimizar los riesgos asociados a sus modos de falla.

Según el libro "Reliability-Centered Maintenance" (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) de Stanley Nowlan y Howard F. Heap (1997), el RCM se define de la siguiente manera: "Reliability Centered Maintenance es una metodología sistemática y lógica para analizar las funciones y fallas de los sistemas técnicos, estableciendo niveles de mantenimiento, que incluyen la detección y corrección de fallas antes de que ocurran. RCM se basa en el concepto de

que cualquier falla de un sistema técnico es el resultado de una o varias fallas en los componentes que lo componen, y que estas fallas son evitables o detectables antes de que ocurran" (Nowlan H, 1997, p. 21).

Esta definición proporciona una idea clara de cómo el RCM busca analizar y comprender los sistemas técnicos y sus modos de falla, a fin de implementar estrategias de mantenimiento preventivo que eviten o detecten las fallas antes de que ocurran.

3.3.5 Planes de Mantenimiento.

Los planes de mantenimiento son un conjunto de operaciones tales como: inspecciones, reparaciones y mediciones específicas de los equipos y/o sistemas dirigidas a mantener en operación los sistemas en estudio. Estos planes además, también establecen la frecuencia con la que se llevan a cabo estas operaciones, los materiales a utilizar en las mismas y permiten la planificación y organización de dichas tareas (Duffuaa et al. 2007)

3.3.6 Confiabilidad

Se puede describir como la capacidad de un componente, equipo o sistema para cumplir con su función principal durante un período de tiempo establecido, bajo condiciones normales de operación. Según algunos autores, la confiabilidad operacional se refiere a la capacidad de una organización para cumplir eficientemente sus funciones durante un período de tiempo determinado y bajo un contexto operativo específico (Mora, 2009).

La confiabilidad operacional se ve influenciada por varios aspectos, como la confiabilidad del equipo, la confiabilidad humana, la confiabilidad del proceso y la mantenibilidad (Altmann, 2009). La confiabilidad de un equipo se mide mediante la frecuencia de ocurrencia de fallas a lo largo del tiempo. Si no hay fallas, se considera que el equipo es altamente confiable. Si la frecuencia de fallas es baja, la confiabilidad del equipo es aceptable. Sin embargo, si la frecuencia de fallas es alta, se considera que el equipo tiene una confiabilidad baja (Bazovsky)

3.3.7 Criticidad

La criticidad se refiere a la importancia o grado de impacto que tiene un componente, equipo o sistema en el cumplimiento de los objetivos operativos y estratégicos de una

organización. Es una medida que evalúa el nivel de riesgo asociado a la falla o mal funcionamiento de dicho elemento y su impacto en la producción, seguridad, calidad o costos.

Según el libro "Maintenance Engineering Handbook" de R. Keith Mobley (2014), la criticidad se define de la siguiente manera: "La criticidad es una medida de la importancia relativa de un componente, equipo o sistema en términos de su impacto en la producción, calidad, seguridad, medio ambiente o costos operativos. La criticidad se determina evaluando la probabilidad de falla, el impacto potencial de la falla y la capacidad para detectar o mitigar los efectos de la falla" (Mobley, 2014, p. 3-2).

Esta definición destaca que la criticidad se establece mediante la evaluación de factores como la probabilidad de falla, el impacto que podría tener la falla y la capacidad para detectar o mitigar los efectos de la misma. De esta manera, se busca priorizar los elementos críticos que requieren una mayor atención y recursos en términos de mantenimiento y gestión.

3.3.8 Análisis de Criticidad

El análisis de criticidad es una metodología utilizada en la gestión de activos y mantenimiento para determinar y evaluar el grado de importancia de los componentes, equipos o sistemas en función de su impacto en los objetivos operativos y estratégicos de una organización. El objetivo principal del análisis de criticidad es identificar y priorizar los elementos críticos que requieren una atención especial y asignación de recursos adecuada.

Según el libro "Maintenance Planning, Scheduling, and Coordination" de Don Nyman y Joel Levitt (2011), el análisis de criticidad se define de la siguiente manera: "El análisis de criticidad es una técnica utilizada para evaluar el impacto de los activos o componentes individuales en el éxito de una organización.

Evalúa la importancia de los activos y su contribución a los objetivos de negocio, incluyendo el impacto en la producción, la seguridad, la calidad, el medio ambiente y los costos operativos" (Nyman y Levit, 2011, p. 91). Esta definición resalta que el análisis de criticidad considera diversos aspectos, como el impacto en la producción, seguridad, calidad, medio ambiente y costos operativos, para evaluar la importancia de los activos y su contribución a los objetivos.

3.3.9 Matriz de Criticidad

John Moubray (1997) define: “Una matriz de criticidad es una herramienta utilizada en la gestión del mantenimiento para evaluar la importancia relativa de los activos o componentes de un sistema en función de su impacto potencial en la operación, seguridad, medio ambiente o costos asociados. Esta matriz permite clasificar y priorizar los activos en función de su nivel de criticidad, lo que ayuda a determinar las acciones de mantenimiento adecuadas para cada uno.”



Fig 3. Matriz de Criticidad

Fuente: Reliabilityweb

La matriz de criticidad se utiliza para evaluar la importancia relativa de los equipos PTAR en términos de su impacto en la operación de la planta, la seguridad, el medio ambiente y los fallos asociados. Mediante la aplicación de esta herramienta, se clasifican y priorizan los equipos en función de su nivel de criticidad, lo que ayuda a determinar las acciones de mantenimiento más adecuadas para cada uno.

3.3.10 Falla.

Una falla se define como la pérdida o deterioro de la capacidad de un componente, equipo o sistema para realizar su función requerida de manera satisfactoria. Es una condición en la cual un elemento no cumple con los estándares o criterios de desempeño esperados, lo que puede resultar en la interrupción o disminución de la operatividad, eficiencia o seguridad del sistema.

Según la norma ISO 14224:2016 - Petroleum, petrochemical and natural gas industries -- Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment, una falla se define de la siguiente manera: "Falla: pérdida de la capacidad para un elemento de cumplir con una función requerida" (ISO 14224:2016, p. 5). Esta definición destaca que una falla implica la incapacidad de

un elemento para cumplir con su función requerida, lo que implica una interrupción o disminución en su desempeño.

3.3.11 Análisis de modos y efectos de fallo (AMEF)

El análisis de modo y efectos de fallo (AMEF) es una metodología desarrollada con el objetivo de evaluar la confiabilidad de equipos al determinar los efectos de sus posibles fallas. Según la norma ISO 22301, el AMEF se considera una herramienta que permite identificar riesgos y tomar medidas preventivas mediante el análisis de posibles fallas en productos, servicios, procesos o sistemas. El propósito es establecer los controles adecuados que eviten la ocurrencia de dichas fallas.

3.3.12 Diagrama Causa – Efecto

Gutiérrez (2011), el diagrama causa-efecto es una herramienta que tiene como objetivo identificar y visualizar todas las posibles causas que pueden generar una falla o defecto en el servicio de mantenimiento o producción. Este diagrama proporciona un esquema estructurado que muestra las relaciones entre las diferentes causas potenciales y el efecto o problema en cuestión.

El diagrama causa-efecto es una herramienta útil para realizar un análisis profundo de la causa raíz de un problema específico. Permite identificar de manera visual y organizada las múltiples variables o factores que pueden contribuir a la aparición de una falla o defecto. Al representar las causas y su relación con el efecto en un diagrama, se facilita la comprensión y el análisis de la situación, lo que a su vez ayuda a la toma de decisiones y la implementación de acciones correctivas o preventivas adecuadas.

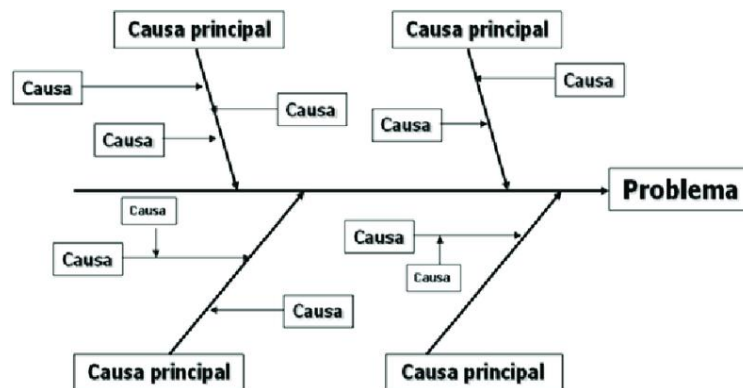


Fig 4. Ejemplo de Diagrama Causa-Efecto

Fuente: Maintenance Engineering Handbook

3.3.13 Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto es una herramienta de análisis utilizada para identificar y priorizar los problemas o causas más significativas que contribuyen a un resultado no deseado. Esta técnica se basa en el principio de que un pequeño número de causas, conocidas como "vital few", es responsable de la mayoría de los efectos o problemas, mientras que un gran número de causas menos significativas, llamadas "trivial many", contribuyen en menor medida.

Según la referencia "The Quality Toolbox" de Nancy R. Tague (2014), el diagrama de Pareto se define de la siguiente manera: "El diagrama de Pareto es una técnica gráfica que ordena las causas o problemas en orden descendente de frecuencia o impacto. La idea básica detrás del diagrama de Pareto es que aproximadamente el 80% de los efectos son causados por el 20% de las causas. Esto implica que al enfocarse en las pocas causas más importantes, se puede lograr un mayor impacto en la mejora" (Tague, 2014, p. 101).

Esta definición destaca la importancia de identificar y priorizar las causas más relevantes o significativas utilizando el diagrama de Pareto. Al enfocar los esfuerzos en abordar estas causas clave, se puede lograr una mayor eficacia en la mejora de los resultados deseados.

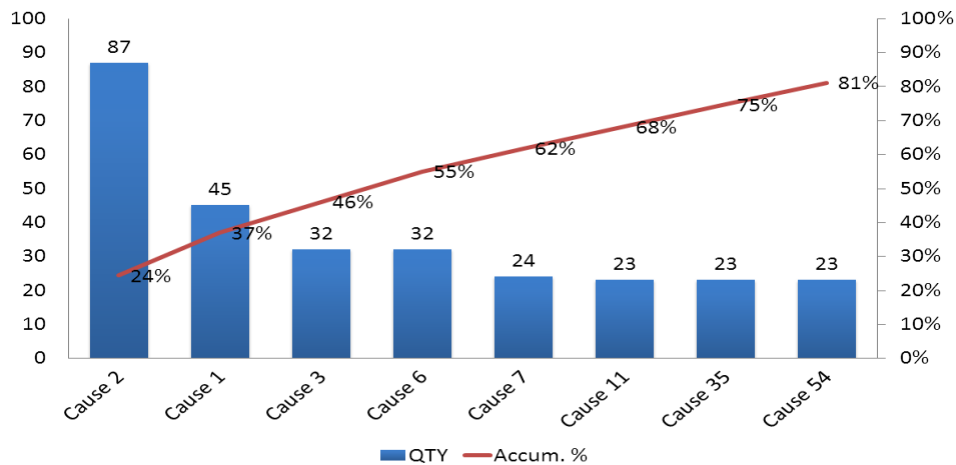


Fig 5. Ejemplo de Diagrama Pareto

Fuente: Maintenance Engineering Handbook

3.3.14 Norma SAE JA1011

La norma SAE JA1011 establece los requisitos necesarios para que un proceso pueda ser considerado como un proceso RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad). Según esta norma, el proceso RCM se basa en la respuesta a siete preguntas fundamentales:

1. ¿Cuáles son las funciones que se desean lograr para el equipo en estudio?
2. ¿Cuáles son las fallas funcionales asociadas a estas funciones?
3. ¿Cuáles son las posibles causas de cada falla funcional?
4. ¿Cuáles son los efectos de cada una de las fallas?
5. ¿Cuál es la consecuencia de cada falla?
6. ¿Qué acciones se pueden llevar a cabo para prevenir o minimizar la consecuencia de la falla?
7. ¿Qué se debe hacer si no se encuentra ninguna acción para prevenir o minimizar la consecuencia de la falla?

La norma SAE JA1011 establece estas siete preguntas como elementos clave que deben abordarse en el proceso RCM. Al responder a estas preguntas, se busca identificar las funciones críticas del equipo, las fallas potenciales, sus causas, efectos y consecuencias, y finalmente, determinar las acciones necesarias para evitar o mitigar los impactos de las fallas. En caso de no encontrar acciones apropiadas, se deben establecer planes de contingencia para hacer frente a las consecuencias de las fallas.

3.3.15 Norma ISO 14224

La norma internacional que describe la recopilación y estructuración de datos de confiabilidad y mantenimiento para equipos de instalaciones en las industrias de petróleo, gas natural y petroquímica es la norma ISO 14224.

Según la norma ISO 14224:2016 - Petroleum, petrochemical and natural gas industries -- Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment, esta norma proporciona una base para la recopilación y estructuración de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos utilizados en las industrias mencionadas. Estos datos son utilizados para la gestión de activos durante todo su ciclo de vida.

3.3.16 Taxonomía

La taxonomía se refiere a un sistema de clasificación o categorización de elementos en función de sus características o propiedades comunes. Es una herramienta que organiza y clasifica de manera jerárquica conceptos, objetos o entidades en diferentes niveles o categorías, estableciendo relaciones y agrupamientos basados en similitudes y diferencias.

Según la definición proporcionada por la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED) de España, la taxonomía se define de la siguiente manera: "La taxonomía es la ciencia de la clasificación. Consiste en el estudio de las normas y principios que gobiernan la clasificación, en la búsqueda de sistemas de clasificación y en la aplicación de estos sistemas al estudio de los seres vivos y otros objetos de estudio" (UNED, s.f.).

Esta definición destaca que la taxonomía es una disciplina que se dedica a establecer normas y principios para la clasificación de diferentes objetos de estudio, como los seres vivos, con el fin de organizarlos de manera sistemática y comprensible.

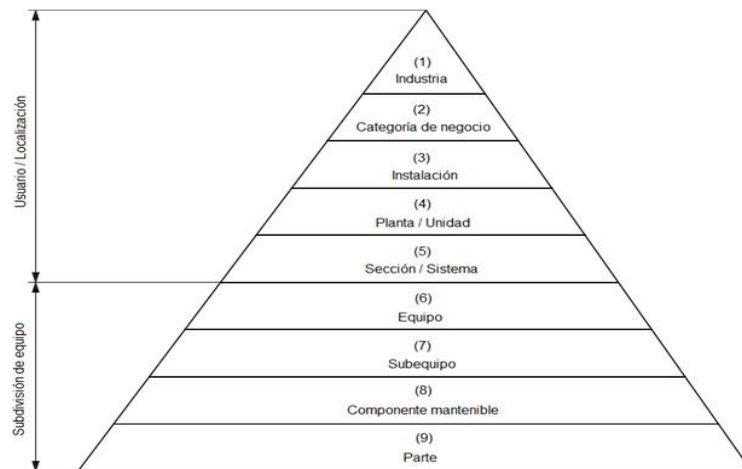


Fig 6. Pirámide de Taxonomía

Fuente: UNED

3.3.17 Objetivo del RCM y fases del proceso

El objetivo del RCM (Reliability Centered Maintenance) es aumentar la disponibilidad de los equipos y reducir los costos asociados con los planes de mantenimiento en industrias y compañías. Este método permite mejorar las funciones de los equipos y prevenir fallas tanto por errores humanos como por el desgaste excesivo de las máquinas. Según la Asociación de

Profesionales en Mantenimiento (APM) del Reino Unido, el proceso del RCM consta de las siguientes fases:

1. Identificación de los sistemas y equipos críticos: En esta fase se identifican los sistemas y equipos que son críticos para el proceso de producción o funcionamiento de la organización.

2. Determinación de las funciones y estándares de desempeño: Se define de manera precisa cuáles son las funciones que deben cumplir los equipos y los estándares de desempeño que se deben alcanzar.

3. Análisis de modos y efectos de falla: Se realiza un análisis exhaustivo de los modos de falla potenciales y los efectos que podrían tener en el desempeño de los equipos.

4. Selección de estrategias de mantenimiento: Se seleccionan las estrategias de mantenimiento más adecuadas para abordar los modos de falla identificados. Esto puede incluir acciones como el mantenimiento preventivo, predictivo u otras técnicas de mantenimiento.

5. Desarrollo de planes de mantenimiento: Se elaboran los planes de mantenimiento específicos para cada equipo, estableciendo las actividades necesarias y los intervalos de tiempo recomendados.

6. Implementación y seguimiento: Se pone en marcha el plan de mantenimiento y se realiza un seguimiento continuo para evaluar su efectividad y realizar ajustes si es necesario.

3.4 Bases Legales

La siguiente es la principal norma que guarda relación con el desarrollo de la presente investigación:

3.4.1 Norma Venezolana COVENIN 2500-93. Manual para evaluar los sistemas de mantenimiento en la industria

Contempla un método cuantitativo para la evaluación de sistemas de mantenimiento en empresas manufactureras, para determinar la capacidad de gestión de la empresa en lo que respecta al mantenimiento industrial mediante el análisis y la calificación de los siguientes factores: organización de la empresa, organización de la función de mantenimiento; planificación, programación y control de las actividades demantenimiento y por último la competencia del personal. Las leyes y reglamentos que forman parte del contexto bajo el cual opera la empresa,

también forman parte de estas bases puesto que son estas las guías a tomar en cuenta (en materia legal) al momento de planificar la ejecución de actividades de mantenimiento.

3.4.2 Norma ISO 14224. Industrias del petróleo, petroquímica y gas natural Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento para equipos.

Esta norma internacional brinda una base para la recolección de datos de Confiabilidad y Mantenimiento en un formato estándar para las áreas de perforación, producción, refinación transporte de petróleo y gas natural, con criterios que pueden extenderse a otras actividades e industrias. Sus definiciones son tomadas del RCM.

Presenta los lineamientos para la especificación, recolección y aseguramiento de la calidad de los datos que permitan Cuantificar la Confiabilidad de los Equipos y compararla con la de otros de características similares.

Si bien la norma está orientada al registro de fallas, son de gran importancia las posibilidades de aplicación que presenta para definir los límites y jerarquía de los equipos de operación, como también la calificación de la jerarquía de las Fallas. Parte desde el Modo de Falla, (perdida de la función) hasta el detalle de la Causa de Falla y el componente que provoca el evento.

3.5 Definición de términos

- Análisis de fallas

Según Mc Kenna (1997:45) citado por Villarroel (2014) el análisis de fallas define como “la recopilación, análisis, revisión y clasificación de las fallas para determinar tendencias e identificar su bajo rendimiento de partes y componentes de un sistema”.

- Detección de fallas en el mantenimiento

Según Duffua et al. (2004) la detección de fallas en el mantenimiento es una evaluación que se lleva a cabo para conocer las eventuales fallas que se pueden presentar dentro del proceso de mantenimiento.

- Equipo o sistema

Es un objeto compuesto cuyos componentes se relacionan con al menos algún otro componente; puede ser material o conceptual. (Larousse, 1996)

- Gestión de mantenimiento

Bupe (2015) dice la Gestión de Mantenimiento como el conjunto y combinación de todas las actividades administrativas y técnicas requeridas para mantener equipos, las instalaciones y otros activos físicos en condición de funcionamiento deseado o restaurarlos a su condición original.

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO

“El marco metodológico se refiere a la descripción de los mecanismos empleados para analizar la problemática de estudio. Es el resultado de la aplicación sistemática de los conceptos presentados en el marco teórico”. Arias (2012), el marco metodológico abarca los tipos de investigación, las técnicas y los instrumentos utilizados para llevar a cabo la indagación, es decir, cómo se llevará a cabo el estudio para resolver el problema planteado.

El marco metodológico es un conjunto de principios, enfoques, métodos y técnicas que se utilizan como guía para llevar a cabo una investigación o proyecto. El enfoque del trabajo se centra en aplicar una metodología sistemática y basada en la confiabilidad para gestionar los equipos de la planta de tratamientos de aguas residuales, con el objetivo de maximizar su rendimiento, minimizar los riesgos de fallas y optimizar los recursos de mantenimiento disponibles.

Según Alles (2003), el marco metodológico se define como "el conjunto de métodos, técnicas e instrumentos que se emplean para abordar un problema o cuestión, y que están orientados a obtener resultados confiables y válidos". Este marco se basa en la selección de un enfoque de investigación, la determinación de los tipos y fuentes de datos a utilizar, así como el diseño y aplicación de los procedimientos para recolectar, analizar e interpretar la información.

4.1 Tipo de Investigación

Según la definición de la UPEL (2016), el proyecto factible se define como un estudio que abarca la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de modelo operativo viable, cuyo objetivo es solucionar problemas, requisitos o necesidades de organizaciones o grupos sociales (p.21).

El estudio de investigación se sitúa dentro del contexto de un proyecto factible, dado que se presenta como una propuesta operativa con viabilidad para abordar y resolver un problema específico, basándose en un diagnóstico previo.

4.2 Diseño de la Investigación

De acuerdo con Tamayo y Tamayo (2003), el diseño de investigación se define como “Una serie de actividades sucesivas y organizadas que se adaptan a las particularidades de cada estudio, indicando los pasos y técnicas a utilizar para la recolección y análisis de datos” (p.108).

Tamayo y Tamayo (2003) explican que la investigación de campo implica la recopilación directa de datos de la realidad, denominados datos primarios, lo cual permite verificar las condiciones reales en las que se obtuvieron los datos y facilita su revisión o modificación en caso de surgir dudas (p.110).

Entonces, trata de una investigación de campo y documental, donde se emplearán métodos de recolección directa de datos en el lugar donde ocurren los fenómenos estudiados. Además, se buscará obtener y analizar información a través de fuentes documentales como libros, archivos, registros, entre otros.

Por otro lado, Arias (2012) describe la investigación documental como un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, aquellos obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales impresas, audiovisuales o electrónicas (p.27).

El diseño de investigación se refiere al establecimiento de un plan que incluye estrategias y procedimientos para la recolección de datos, su procesamiento, análisis e interpretación, con el objetivo de abordar los problemas planteados.

4.3 Nivel de la Investigación

La investigación se ubica en el nivel descriptivo, ya que busca identificar las características del fenómeno estudiado y comprender el porqué de los hechos. Según Arias (2012), la investigación descriptiva se enfoca en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo con el objetivo de establecer su estructura o comportamiento. Durante el diagnóstico de la situación actual se lleva a cabo la caracterización de los hechos, mientras que en el análisis de modos y efectos de fallas se establecen las relaciones causa-efecto en el marco de la investigación descriptiva.

4.4 Población y Muestra

4.4.1 Población

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), la población se define como "El conjunto de elementos que presentan una o más características comunes y que constituyen el universo de estudio" (p. 275). La población se refiere al conjunto completo de elementos, individuos o casos que comparten características comunes y son objeto de estudio en una investigación. Puede incluir a todas las personas, objetos, eventos o fallos que cumplen con los criterios establecidos para ser considerados parte de la población en cuestión.

Entonces, la población se refiere a un todo, al universo, al conjunto total de elementos sobre los que se hace un estudio. Es por ello que, para esta investigación la población será la planta Cargill de Venezuela S.R.L de Valencia, todo activo que esté involucrado en el proceso de fabricación.

4.4.2 Muestra

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), una muestra se define como "un subconjunto de la población seleccionada con el propósito de representarla y de inferir acerca de las características de dicha población" (p. 286). La muestra se refiere a una porción o subconjunto representativo de la población seleccionada para su estudio en una investigación. Es a través del análisis de la muestra que se obtienen conclusiones y generalizaciones sobre la población en su conjunto.

En este orden de ideas, la muestra para la realización del estudio abarca los motores, bombas y tanques de la planta de tratamiento de aguas residuales en el área de servicios industriales en el departamento de mantenimiento en la empresa Cargill de Venezuela S.R.L. Planta Valencia.

4.5 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Arias (2012) define las técnicas de recolección de datos como "el conjunto de procedimientos y métodos que se utilizan durante el proceso de investigación, con el propósito de conseguir la información pertinente a los objetivos formulados en una investigación" (p.376).

Los instrumentos de recolección de datos son documentos o soportes que admiten reconocer las informaciones recabadas. Según explica Tamayo (2003) estos instrumentos deberán ser estructurados de acuerdo al tipo de investigación adoptado y cumplir con los requisitos fundamentales de validez y confiabilidad.

4.5.1.1. Observación directa

La observación directa se refiere a la técnica de recolección de datos en la cual el investigador se encuentra presente en el lugar de los hechos para observar y registrar información de manera directa, sin alterar el entorno que se está investigando. Durante este proceso, se pueden recopilar datos sobre un individuo, fenómeno o situación específica.

Según Palella y Martins (2012), la observación directa implica que el investigador se pone en contacto personalmente con el hecho o fenómeno que está siendo investigado, permitiendo una recopilación de datos en tiempo real y una mayor cercanía a la realidad del objeto de estudio.

4.5.1.2. Entrevista.

La entrevista semi-estructurada es una técnica de recolección de datos en la cual se lleva a cabo una entrevista con un conjunto predefinido de preguntas, pero con flexibilidad para que el entrevistador pueda hacer preguntas adicionales o explorar temas relevantes que surjan durante la entrevista. Esta técnica permite obtener información detallada y en profundidad sobre el tema de estudio.

De acuerdo con Arias (2012), la entrevista semi-estructurada se caracteriza por tener una guía de preguntas previamente establecida, pero el entrevistador tiene la libertad de realizar otras preguntas que no estaban inicialmente contempladas. Esta flexibilidad permite adaptar la entrevista a las particularidades del entrevistado y profundizar en aspectos relevantes que puedan surgir durante la interacción.

En tal sentido, la presente investigación utilizó la técnica de observación directa mediante la aplicación de un instrumento de recolección de datos tipo entrevista semi-estructurada y revisión documental.

Cuadro 1: Guion de entrevista

RESULTADO DE LA ENTREVISTA		
Objetivo Especifico	Experto:	Fecha:
	PREGUNTA	RESPUESTA
Diagnosticar el estado que se encuentran los equipos de la planta de tratamientos de aguas residuales así como sus aspectos técnicos, condiciones y fallas.	¿Cuál es la condición general de los equipos de PTAR en términos de su funcionamiento y estado físico?	
	¿Qué aspectos técnicos, registro o fuente de información puede suministrar sobre los activos de PTAR?	
Analizar las causas de fallos que presenta la PTAR de Cargill S.R.L. mediante un análisis AMEF	¿Cuáles son las principales fallas o problemas recurrentes que se han identificado en la PTAR ?	
	¿Qué tiempo dura una falla que provoque parada a planta en PTAR en ser corregida cuando se presenta?	
Diseñar sistema de gestión centrado en la confiabilidad para los equipos de la PTAR de Cargill S.R.L	¿Qué medidas o estrategias se están considerando para mejorar la confiabilidad de los equipos en la PTAR y cómo se planea implementarlas?	
	¿Qué prácticas o metodologías se utilizan para garantizar la confiabilidad de los equipos?	
Evaluar la factibilidad operativa, técnica, económica y ambiental del sistema diseñado.	¿Conoce algún plan que haya sido implementado y sido factible para PTAR en el pasado? Describa	
	¿Cuáles serían los beneficios esperados de su implementación y qué desafíos podrían surgir en el proceso?	

Fuente: Arrieche, R (2023)

4.5.1.3. Revisión documental

Hurtado (2008) define la revisión documental como “técnica en la cual se recurre a la información escrita, ya sea en forma de datos generados por mediciones realizadas por otros investigadores o como textos que en sí mismos constituyen los eventos de estudio". Esta técnica proporciona acceso a fuentes documentales como libros, artículos, informes, archivos digitales, entre otros, que contienen información valiosa para la investigación.”

La revisión documental es una técnica de investigación que consiste en recopilar y analizar información escrita, ya sea en forma de datos recolectados por otros investigadores o como documentos textuales que constituyen los objetos de estudio. Mediante esta técnica, se examinan y seleccionan documentos como la lista maestra de activos de planta, Layout de equipos y registro de fallos de equipos, permitiendo obtener información previamente registrada y analizada por terceros.

4.6 Técnicas de Análisis de Resultados

Finalizada la etapa de recolección de datos, se requiere sintetizarlos para realizar un análisis de los mismos con ayuda de tablas y gráficos para la organización e interpretación de los mismos, para relacionarlos con los objetivos del estudio y establecer conclusiones.

Arias (2012) establece que en las técnicas de procesamiento y análisis de datos “se describen las distintas operaciones a las que serán sometidos los datos que se obtengan: clasificación, registro, tabulación y codificación si fuese el caso”.

4.6.1 Análisis de criticidad

El análisis de criticidad es una técnica utilizada en la gestión de activos y mantenimiento para evaluar la importancia o criticidad de los equipos o componentes de un sistema en función de su impacto en los objetivos operativos de una organización. El objetivo principal del análisis de criticidad es identificar y priorizar los activos críticos que tienen un mayor impacto en la seguridad, confiabilidad, disponibilidad y desempeño de un sistema.

Durante el análisis de criticidad, se consideran varios factores, como la frecuencia de fallas de un equipo, las consecuencias de esas fallas (por ejemplo, tiempo de inactividad, costos de reparación, riesgos para la seguridad), la importancia operativa del equipo para los procesos de la organización y los requisitos regulatorios o normativos aplicables.

La evaluación de la criticidad puede basarse en diferentes enfoques, como el uso de matrices de criticidad que combinan la probabilidad de falla con el impacto de las

consecuencias, o la aplicación de criterios de clasificación predefinidos. El resultado del análisis de criticidad es la identificación de los activos críticos y la asignación de niveles de criticidad (por ejemplo, alta, media o baja) a cada uno de ellos.

El análisis de criticidad proporciona una base sólida para la toma de decisiones relacionadas con la gestión de activos y la planificación del mantenimiento. Permite asignar recursos de manera más eficiente, priorizando las acciones de mantenimiento y estableciendo estrategias adecuadas de mantenimiento preventivo, predictivo o correctivo para maximizar la confiabilidad y disponibilidad de los activos más críticos.

4.6.2 Análisis de modos y efectos de falla (AMEF)

Según la norma ISO 9000:2015, el AMEF se define como "un análisis sistemático de los modos de falla potenciales de un producto o proceso y sus efectos sobre el funcionamiento del mismo y sobre los requisitos del cliente". Este análisis permite identificar las medidas preventivas y de detección que pueden implementarse para mitigar los riesgos asociados a los modos de falla.

El Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) es una metodología que se utilizara para identificar y evaluar los posibles modos de falla de un sistema o equipo, así como sus efectos y las medidas de control asociadas. Consiste en un enfoque sistemático que permite analizar las posibles causas de falla, sus consecuencias y la probabilidad de que ocurran.

4.7 Fases metodológicas

FASE I: Diagnostico del estado que se encuentran los equipos de la planta de tratamientos de aguas residuales así como sus aspectos técnicos, condiciones y fallas.

En esta fase se llevará a cabo un diagnóstico de la situación actual en el proceso de tratamiento de aguas residuales, para identificar las causas del problema en estudio, será necesario el uso de la observación directa y entrevistas no estructuradas para la recopilación de información necesaria para el entendimiento del proceso y los equipos presentes en el mismo, para así tener una mejor visualización de la situación actual de PTAR.

FASE II: Analisis de las causas de fallos que presenta la PTAR de Cargill S.R.L. mediante un análisis AMEF

En esta fase se procederá a identificar las causas de las fallas en los equipos, se realizará el análisis de modos y efectos de falla (AMEF), análisis de criticidad, unificación de información sobre equipos críticos con ayuda de bases de datos para luego llevar a cabo la categorización. En esta fase se utilizaron las técnicas de análisis de datos.

FASE III: Diseño de un sistema de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para los equipos de la PTAR de Cargill S.R.L.

Con la información recopilada en la fase anterior, se procederá a realizar el plan de mantenimiento centrado en confiabilidad con los procedimientos generales a través de un cronograma semanal, mensual y anual de las actividades a realizar para mejorar la confiabilidad de los equipos, así como también la elaboración de formatos de reportes de mantenimiento en caso de ser necesario.

FASE IV: Evaluación de la factibilidad operativa, técnica, y económica del plan de mantenimiento propuesto.

En esta última fase, se evaluará la factibilidad del plan de mantenimiento propuesto desde el aspecto operativo, técnico, social y económico, a través de una simulación o pronóstico que permita visualizar el comportamiento de estos factores en función de la propuesta realizada.

4.8 Cuadro de Operacionalización de Variables

Cuadro 2. Cuadro de Operacionalización de variables

OBJETIVO ESPECÍFICO	VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES
Diagnosticar el estado que se encuentran los equipos de la planta de tratamientos de aguas residuales así como su aspectos técnicos, condiciones y fallas..	Estatus de activos	Diagnostico	Deterioro
			Condiciones
			Tipo de Servicio
	Evaluacion de activos	Confiabilidad	Fallos
			Disponibilidad
	Clasificacion de Activos	Tecnica	Taxonomia
	Plan de mantenimiento		Sistemas
			Factabilidad
			Tipo de Mantenimiento

Autor: Arrieche R. (2023)

CAPÍTULO V

RESULTADOS

En este capítulo se desarrollan los pasos necesarios y descritos en el capítulo anterior y que permiten lograr alcanzar los objetivos específicos que se plantearon en el capítulo 2, y que a su vez conducen a desarrollar el objetivo general. El objetivo general es elaborar un sistema de gestión centrado en confiabilidad para la reducción de las paradas no programadas y registro de los equipos críticos del proceso de tratamiento. Además, en este capítulo se presenta el plan de mantenimiento preventivo y se dan las conclusiones y recomendaciones.

5.1 FASE I: Diagnostico del estado que se encuentran los equipos de la planta de tratamientos de aguas residuales, así como sus aspectos técnicos, condiciones y fallas.

Para hacer más fácil el entendimiento, es necesario profundizar en el proceso de PTAR y conocer la cantidad de activos que este posee, al mismo tiempo determinar cómo está distribuida en zonas y áreas dentro de su misma organización esto engloba la distribución de los equipos y sistemas en áreas específicas y se puede denotar mediante un layout.

La información recopilada a través de la revisión documental permitió identificar los siguientes activos que tiene Cargill de Venezuela S.R.L.

Tabla III. Data de áreas, procesos, prioridad y criticidad en PTAR

Area	Sub-Proceso	Prioridad	Categoria
10000 PTAR	10001: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PTAR	1	BLACK
10000 PTAR	10002: AREA DE CONTENEDORES DE QUIMICOS PARA USO	2	GRAY
10000 PTAR	10003: ALMACEN DE QUIMICOS PTAR	2	GRAY
10000 PTAR	10004: ALAMCEN DE VARITAINERS VACIO PTAR	4	WHITE
10000 PTAR	10005: TRAMPA DE LLUVIA DE LOGISTICA	3	GRAY
10000 PTAR	10006: TRAMPA DE GRASA KRONES	3	GRAY
10000 PTAR	10007: TRAMPA DE GRASA PRINCIPAL	2	GRAY
10000 PTAR	10008: TRAMPA DE GRASA DE ENVASADO PET	3	GRAY
10000 PTAR	10009: TRAMPA DE GRASAS DE MANTECA	3	GRAY
10000 PTAR	10010: TRAMPA DE GRASA DE VIGILANCIA	3	GRAY
10000 PTAR	10011: EXTRACCION MECANICA	4	WHITE

Fuente: Share Point. Grupo Mimesa (2019)

En la tabla III se puede apreciar el código que posee el área PTAR (10000) y como los sub procesos están determinados por el mismo TAG pero con un numero adicional para control sobre los mismos, por último la prioridad y categoría que van de acuerdo a la criticidad siendo 1- Black lo más importante en el área y 4 – White lo menos relevante.

Cada área posee una cantidad de equipos que ejecutan una función en específico para el desarrollo de las actividades presentes en PTAR, a continuación, se presenta una tabla dondese puede apreciar el listado maestro de equipos y activos (ver tabla IV)

Tabla IV. Data de áreas, procesos, prioridad y criticidad en PTAR

DIVISION	AREA	ACTIVO	CODIGO
PROCESO	10000 PTAR	MOTOR	M-10014 A
PROCESO	10000 PTAR	BOMBA	P-10014 A
PROCESO	10000 PTAR	BOMBA	P-10014 B
PROCESO	10000 PTAR	MOTOR	M-10014 C
PROCESO	10000 PTAR	BOMBA	P-10014 C
PROCESO	10000 PTAR	MOTOR	M-10013
PROCESO	10000 PTAR	BOMBA	P-10013
PROCESO	10000 PTAR	MOTOR	M-10011 A
PROCESO	10000 PTAR	BOMBA	P-10011 A
PROCESO	10000 PTAR	MOTOR	M-10011 B
PROCESO	10000 PTAR	BOMBA	P-10011 B
PROCESO	10000 PTAR	MOTOR	M-10011 C
PROCESO	10000 PTAR	BOMBA	P- 10011 C
PROCESO	10000 PTAR	BOMBA	P-10013 C
PROCESO	10000 PTAR	MOTOR	M-10013 C
PROCESO	10000 PTAR	MOTOR	M-10013 B
PROCESO	10000 PTAR	BOMBA	P-10013 B
PROCESO	10000 PTAR	MOTOR	M-10012 A
PROCESO	10000 PTAR	MOTOR	M-10012 B
PROCESO	10000 PTAR	BOMBA	P-10012 A
PROCESO	10000 PTAR	BOMBA	P-10012 B
PROCESO	1000 RECEPCION DE CRUDO	BOMBA	P - 10016
PROCESO	1000 RECEPCION DE CRUDO	MOTOR	M - 10016
PROCESO	10000 PTAR	BOMBA	P- 10012 C
PROCESO	10000 PTAR	MOTOR	M - 10012 C
PROCESO	A500 TANQUERIA DE CRUDO	BOMBA	P - 10017
PROCESO	A500 TANQUERIA DE CRUDO	MOTOR	M-10017
PROCESO	B500 TANQUERIA PRODUCTO BLANQUEADO	BOMBA	P - 10019

Continuación de Tabla IV.

PROCESO	B500 TANQUERIA PRODUCTO BLANQUEADO	MOTOR	M - 10019
PROCESO	A500 TANQUERIA DE CRUDO	BOMBA	P - 10018
PROCESO	A500 TANQUERIA DE CRUDO	MOTOR	M - 10018
PROCESO	7100 ENVASADO ACEITE	BOMBA	P - 10020
PROCESO	7100 ENVASADO ACEITE	MOTOR	M - 10020
PROCESO	4000: BLANQUEO	BOMBA	P - 10015
PROCESO	4000: BLANQUEO	MOTOR	M - 10015
PROCESO	10000 PTAR	MOTOR	M-10001 A
PROCESO	10000 PTAR	BOMBA	P-10001 A
PROCESO	10000 PTAR	MOTOR	M-10001 B
PROCESO	10000 PTAR	BOMBA	P-10001 B
PROCESO	10000 PTAR	BOMBA	P-10001 C
PROCESO	10000 PTAR	BOMBA	P-10002 A
PROCESO	10000 PTAR	MOTOR	M-10002 A
PROCESO	10000 PTAR	MOTOR	M-10002 B
PROCESO	10000 PTAR	BOMBA	P-10002 B
PROCESO	10000 PTAR	MOTOR	M-10002 C
PROCESO	10000 PTAR	BOMBA	P-10002 C
PROCESO	10000 PTAR	BOMBA	P- 10006
PROCESO	10000 PTAR	MOTOR	M-10009
PROCESO	10000 PTAR	BOMBA	P-10003
PROCESO	10000 PTAR	MOTOR	M-10003
PROCESO	10000 PTAR	MOTOR	
PROCESO	10000 PTAR	BOMBA	

Fuente: R. Arrieche (2023)

Conociendo el listado maestro de equipos se puede determinar la ubicación de cada uno esto para poder tener claridad a la hora de ubicar a los activos en los sistemas y determinar cuáles como serían la distribución de equipos en base a su función específica y el estatus en que se encuentran, operativo o fuera de servicio. (Ver tabla V)

Tabla V. Función y estatus de activos

CODIGO	FUNCION	STATUS
M-10014 A	Transferencia de Agua de lluvia a Tq. Igualacion / Desague	OPERATIVA
P-10014 A	Transferencia de Agua de lluvia a Tq. Igualacion / Desague	OPERATIVA
P-10014 B	antigua bomba de transferencia a Ptar de Ligistica	FUERA DE SERVICIO
M-10014 C	Extraccion de agua de lluvia de gandolas a PTAR	OPERATIVA
P-10014 C	Extraccion de agua de lluvia de gandolas a PTAR	OPERATIVA
M-10013	Motor principal de bombeo de agua residual a PTAR	OPERATIVA
P-10013	Bomba principal de bombeo de agua residual a PTAR	OPERATIVA

Continuación de Tabla V.

M-10011 A	Transferencia de Fosa 1 a Fosa 2 en Trampa Principal	OPERATIVA
P-10011 A	Transferencia de Fosa 1 a Fosa 2 en Trampa Principal	OPERATIVA
M-10011 B	Transferencia de agua de proceso al tanque de igualación	OPERATIVA
P-10011 B	Transferencia de agua de proceso al tanque de igualación	OPERATIVA
M-10011 C	Transferencia Aux. de agua de proceso al tanque de igualación	OPERATIVA
P- 10011 C	Transferencia Aux. de agua de proceso al tanque de igualación	OPERATIVA
P-10013 C	Transferencia de agua residual Trampa grasa de gerencia a trampa principal	OPERATIVA
M-10013 C	Transferencia de agua residual a trampa principal	OPERATIVA
M-10013 B	Motor transferencia de agua residual de Manteca al tanque de igualación	OPERATIVA
P-10013 B	Bomba transferencia de agua residual de Manteca al tanque de igualación	OPERATIVA
M-10012 A	Motor principal de bombeo de agua residual a Trampa Principal	OPERATIVA
M-10012 B	Motor auxiliar de bombeo de agua residual a trampa principal	OPERATIVA
P-10012 A	Bomba principal envio de agua residuales a PTAR	OPERATIVA
P-10012 B	Bomba auxiliar envio de agua residuales a PTAR	OPERATIVA
P - 10016	Succion de agua empozada y envio a tanque de igualacion	OPERATIVA
M - 10016	Succion de agua empozada y envio a tanque de igualacion	OPERATIVA
P- 10012 C	Motor de extraccion de agua de lluvia a Trampa vigilancia	OPERATIVA
M - 10012 C	Bomba de extraccion de agua de lluvia a Trampa vigilancia	OPERATIVA
P- 10017	Succion de agua empozada de tanquerias A 500 y envio a trampa principal	OPERATIVA
M-10017	Succion de agua empozada de tanquerias A 500 y envio a trampa principal	OPERATIVA
P- 10019	Succion de agua empozada de tanquerias blanqueo y envio a trampa principal	OPERATIVA
M- 10019	Succion de agua empozada de tanquerias blanqueo y envio a trampa principal	OPERATIVA
P- 10018	Succion de agua empozada de tanqueria 5000 y envio a trampa principal	OPERATIVA
M- 10018	Succion de agua empozada de tanqueria 5000 y envio a trampa principal	OPERATIVA
P- 10020	Succion de agua empozada de tanqueria PET envasado y envio a trampa principal	OPERATIVA
M - 10020	Succion de agua empozada de tanqueria PET envasado y envio a trampa principal	OPERATIVA
P - 10015	Succion de agua empozada en Fosa de descarga de Tierra.	OPERATIVA
M - 10015	Succion de agua empozada en Fosa de descarga de Tierra.	OPERATIVA
M-10001 A	Succion de agua residual TQ Igualacion y envio al DAF	OPERATIVA
P-10001 A	Succion de agua residual TQ Igualacion y envio al DAF	OPERATIVA

Continuación de Tabla V.

M-10001 B	Succion AUX de agua residual TQ Igualacion y envio al DAF	FUERA SERVICIO	DE
P-10001 B	Succion AUX de agua residual TQ Igualacion y envio al DAF	FUERA SERVICIO	DE
P-10001 C	Bomba docificadora de acido sulfurico a tanque de igualacion	OPERATIVA	
P-10002 A	Bomba docificadora de sulfato de plata	OPERATIVA	
M-10002 A	Bomba docificadora de sulfato de plata	OPERATIVA	
M-10002 B	Envio de agua a Torre de Enfriamiento	OPERATIVA	
P-10002 B	Envio de agua a Torre de Enfriamiento	OPERATIVA	
M-10002 C	Recirculacion de Agua en DAF	OPERATIVA	
P-10002 C	Recirculacion de Agua en DAF	OPERATIVA	
P- 10006	Recirculacion/envio de agua debajo Lodo a Tanque de igulacion	OPERATIVA	
M-10009	Ventilador de Torre de Enfriamiento	FUERA SERVICIO	DE
P-10003	Bomba de Recirculacion de reactor biologico y clarificador	OPERATIVA	
M-10003	Motor de Recirculacion de reactor biologico y clarificador	OPERATIVA	
	Motor de extraccion de agua de extraccion mecanica	OPERATIVA	
	Bomba de extraccion de agua de extraccion mecanica	OPERATIVA	

Fuente: R. Arrieche (2023)

Al verificar y recolectar información se pudo denotar que de los 74 equipos que componen el sistema de bombeo de PTAR, 70 están en funcionamiento y operativos mientras 4 se encuentran fuera de servicios, estos son el motor del ventilador de torre de enfriamiento (M-10009), La bomba de auxiliar que envía agua del tanque de igualación al DAF (P-10001B & M-10001B) y la bomba que envía agua de la trampa de lluvia de logística al tanque de igualación. (P-10014 B).

Para hacer más comprensible el diagnóstico se realizó la distribución de los activos en el área de PTAR mediante un Layout para conocer su ubicación exacta y realizar las inspecciones visuales. (Ver fig. 7)

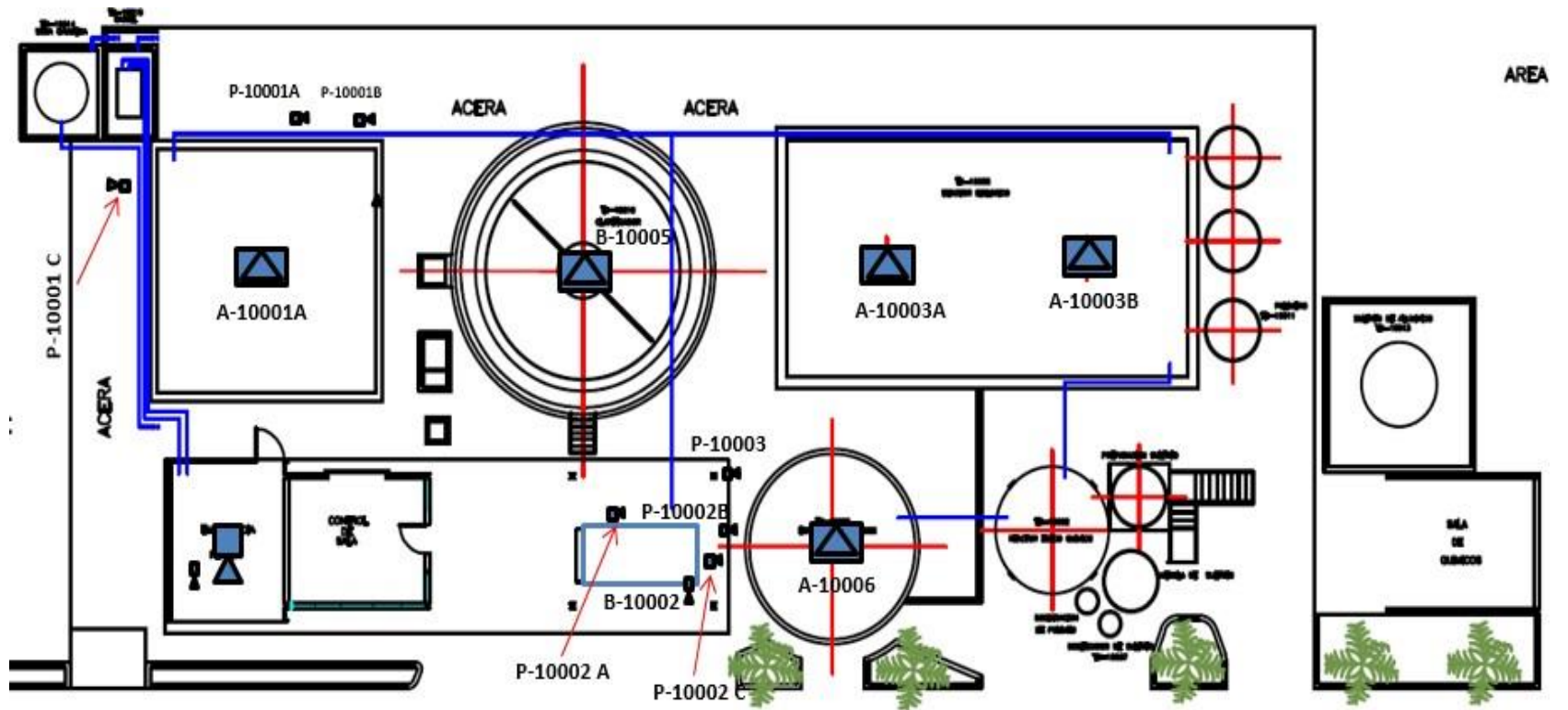


Fig. 7: Layout de PTAR Cargill de Venezuela S.R.L.

Fuente: J. Lazo (2018)

En continuidad a lo anterior, se propuso a ejecutar una clasificación de los activos bombas, barrederas, agitadores, motores que componen los sistemas de PTAR, en función a los activos y sub áreas (Reactor biológico, Tanque de igualación, Clarificador, Espesador, DAF y torre de enfriamiento). Dando como resultados las siguientes variables a estudiar (Ver grafico 1):

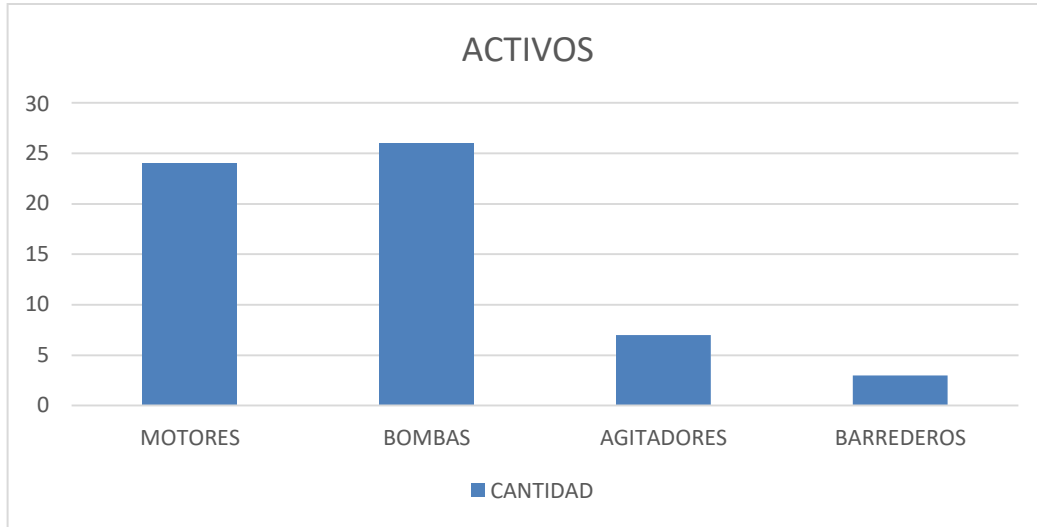


Gráfico 1: Clasificación de activos

Fuente: R. Arrieche (2023)

Se pudo apreciar la mayor distribución de Bombas (26) Motores (24), Agitadores (6) Barredoras (3). Mientras que ene los activos la mayor parte están distribuidos entre las Trampa de Grasa y Bombas de Achique. Posteriormente se categorizaron y distribuyeron en los disintos subsistemas que posee PTAR (ver grafico 2)

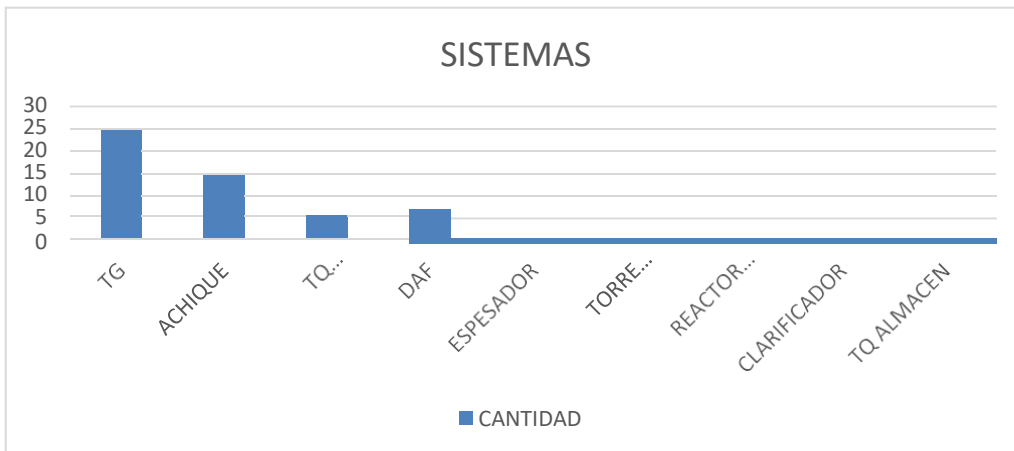


Gráfico 2: Distribucion de activos en subsistemas

Fuente: R. Arrieche (2023)

Se realizó un análisis taxonómico de los equipos críticos de la organización, basado en la norma ISO 14224. Este análisis permitió obtener una mejor comprensión de la distribución de estos equipos dentro de la organización, lo que facilitó la elaboración de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad. (Ver fig. 8)

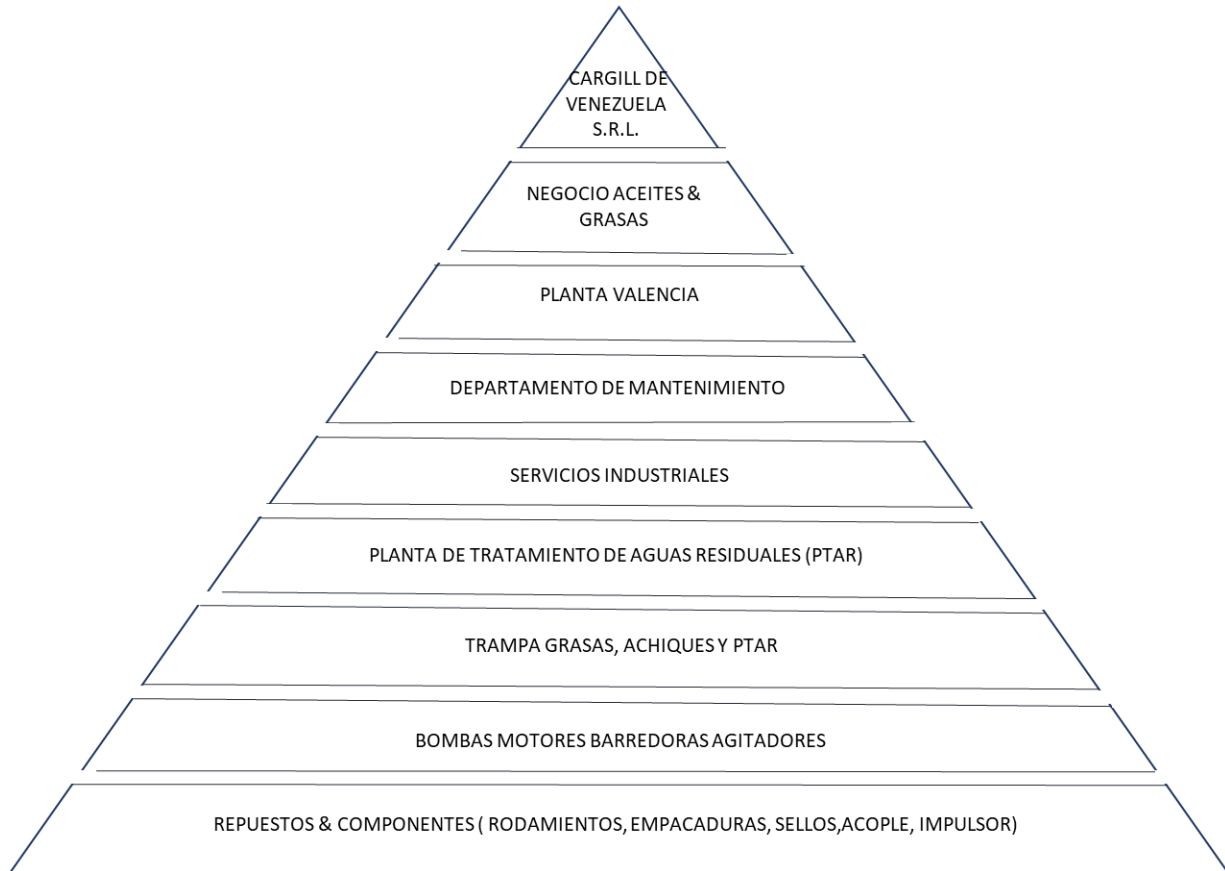


Fig 8: Taxonomía de PTAR

Fuente: R. Arrieche (2023)

En base a lo anterior mencionado se procedió a aplicar las herramientas del trabajo de inspección directa y entrevistas.

Durante el desarrollo de las actividades de la PTAR se utilizó la observación directa para recopilar información sobre los equipos y sus condiciones y fallas. Esta información se utilizó para identificar los problemas que causaban las paradas no programadas. Se recopiló información sobre los equipos y el proceso de que efectúan cada equipo. Esta información se utiliza para identificar los problemas que causan las fallas de los equipos y para determinar el riesgo de estas fallas y conocer el estatus de operatividad que cada activo posee.

Durante el desarrollo de las actividades de la PTAR se utilizó la observación directa para recopilar información sobre los equipos y sus condiciones y fallas. Esta información se utilizó para identificar los equipos que presentaban condiciones de falla. (Ver cuadro 3)

Cuadro 3: Cuadro del Instrumento de Observación

N°	OBSERVACIONES	CRITERIOS		
		ACEPTABLE	REGULAR	DEFICIENTE
1	¿El equipo está limpio y libre de residuos?			x
2	¿El equipo presenta ruido?		x	
3	¿El equipo presenta corrosión?			x
4	¿El equipo presenta algún daño físico?	x		
5	¿El equipo presenta alguna fugas?		x	
6	¿El equipo presenta algún olor?	x		
7	¿El equipo ha presentado fallas?			x

Fuente: R.Arrieché (2023)

La observación directa se realizó durante el periodo de pasantías en la planta. Durante la estadía, se observó el funcionamiento de los equipos y se toma notas sobre su estado y condiciones. La información recopilada a través de la herramienta permitió identificar los siguientes problemas que causaban las paradas no programadas en la planta:

- Equipos desgastados o con corrosión: Algunos equipos de la planta estaban desgastados o con corrosión, lo que aumentaba el riesgo de fallas.
- Falta de mantenimiento preventivo: La planta no contaba con un programa de mantenimiento preventivo adecuado, lo que contribuía a la acumulación de fallas menores que eventualmente causaban paradas no programadas.
- Sin registro o historial de falla: No se poseía información, ni data de las fallas que presentaban PTAR.

Para obtener información sobre la condición y fallas de los equipos en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), se realizaron entrevistas semiestructuradas a un panel de tres expertos. Estos expertos están a cargo de los sistemas que intervienen en diferentes zonas de la PTAR y tienen una relación constante con el área de mantenimiento. Las entrevistas se realizaron utilizando un guion que contenía siete preguntas específicas, las cuales fueron diseñadas para recopilar la información necesaria.

Los expertos entrevistados fueron los siguientes (Ver cuadro 4):

Cuadro 4: Expertos Entrevistados

N°	EXPERTO	AREA	CARGO
1	Jorge Lazo	MTTO	PLANIFICADOR
2	Rafael Blanco	MTTO	SUPERINTENDENTE
3	Orlandos Lozada	PROCESO	OPERADOR PTAR

Fuente: R.Arrieché (2023)

Las respuestas que formularon cada experto se ve reflejada en los cuadros 5, 6 y 7:

Cuadro 5: Resultados de Entrevista a experto Argenis Lozada

RESULTADO DE LA ENTREVISTA		
Objetivo Especifico	Experto: Argenis Lozada	Fecha: 05/08/2023
	PREGUNTA	RESPUESTA
Diagnosticar el estado que se encuentran los equipos de la planta de tratamientos de aguas residuales así como sus aspectos técnicos, condiciones y fallas.	¿Cuál es la condición general de los equipos de PTAR en términos de su funcionamiento y estado físico?	Aun funcionan a medias debido a fallas
	¿Qué aspectos técnicos, registro o fuente de información puede suministrar sobre los activos de PTAR?	Operadores de turnos y manuales
	¿Cuáles son las principales fallas o problemas recurrentes que se han identificado en la PTAR ?	El DAF
	¿Qué tiempo dura una falla que provoque parada a planta en PTAR en ser corregida cuando se presenta?	12 hrs
	¿Qué medidas o estrategias se están considerando para mejorar la confiabilidad de los equipos en la PTAR y cómo se planea implementarlas?	Comunicación, inspecciones, chequeos
	¿Qué prácticas o metodologías se utilizan para garantizar la confiabilidad de los equipos?	Ninguna salvo inspecciones
	¿Conoce algún plan que haya sido implementado y sidofactible para PTAR en el pasado? Describa	Supervisión continua hasta el 2017
	¿Cuáles serían los beneficios esperados de su implementación y qué desafíos podrían surgir en el proceso?	Alargamiento de vida útil de los equipos

Fuente: R.Arrieche (2023)

Cuadro 6: Resultados de Entrevista a experto Rafael Blanco

RESULTADO DE LA ENTREVISTA		
Objetivo Especifico	Experto: Ing. Rafael Blanco	Fecha: 06/08/2023
	PREGUNTA	RESPUESTA
Diagnosticar el estado que se encuentran los equipos de la planta de tratamientos de aguas residuales así como sus aspectos técnicos, condiciones y fallas.	¿Cuál es la condición general de los equipos de PTAR en términos de su funcionamiento y estado físico?	50 % de los equipos requieren mto mayor
	¿Qué aspectos técnicos, registro o fuente de información puede suministrar sobre los activos de PTAR?	Manuales de procedimientos
	¿Cuáles son las principales fallas o problemas recurrentes que se han identificado en la PTAR ?	Fallas en bombas de achique, desgaste por repuestos usados
	¿Qué tiempo dura una falla que provoque parada a planta en PTAR en ser corregida cuando se presenta?	3 hrs o de inmediato
	¿Qué medidas o estrategias se están considerando para mejorar la confiabilidad de los equipos en la PTAR y cómo se planea implementarlas?	Evaluaciones continuas, mantener programación
	¿Qué prácticas o metodologías se utilizan para garantizar la confiabilidad de los equipos?	Observación de equipos y evaluaciones preventivas
	¿Conoce algún plan que haya sido implementado y sidofactible para PTAR en el pasado? Describa	Mtto preventivo y predictivo
	¿Cuáles serían los beneficios esperados de su implementación y qué desafíos podrían surgir en el proceso?	Mejora continua

Fuente: R.Arrieché (2023)

Cuadro 7: Resultados de Entrevista a experto Jorge Lazo

RESULTADO DE LA ENTREVISTA		
Objetivo Especifico	Experto: Jorge Lazo	Fecha:
	PREGUNTA	RESPUESTA
Diagnosticar el estado que se encuentran los equipos de la planta de tratamientos de aguas residuales así como sus aspectos técnicos, condiciones y fallas.	¿Cuál es la condición general de los equipos de PTAR en términos de su funcionamiento y estado físico?	Actualmente tiene un estado físico deplorable, ya los equipos son muy antiguos
	¿Qué aspectos técnicos, registro o fuente de información puede suministrar sobre los activos de PTAR?	Lista maestra de activos y planos de equipo
	¿Cuáles son las principales fallas o problemas recurrentes que se han identificado en la PTAR ?	Fallas mecánicas en Bombas y barredoras
	¿Qué tiempo dura una falla que provoque parada a planta en PTAR en ser corregida cuando se presenta?	Aproximadamente de 4 a 5 horas
	¿Qué medidas o estrategias se están considerando para mejorar la confiabilidad de los equipos en la PTAR y cómo se planea implementarlas?	Se considera implementar mantenimiento predictivo
	¿Qué prácticas o metodologías se utilizan para garantizar la confiabilidad de los equipos?	Actualmente inspecciones visuales y eléctricas
	¿Conoce algún plan que haya sido implementado y sidofactible para PTAR en el pasado? Describa	Desconozco algún plan pasado
	¿Cuáles serían los beneficios esperados de su implementación y qué desafíos podrían surgir en el proceso?	Disminuir fallas repentinas aumentando su funcionalidad

Fuente: R.Arrieche (2023)

El diagnóstico realizado a partir de la entrevista muestra que el mantenimiento de las bombas y motores en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Cargill de Venezuela se basa principalmente en el mantenimiento correctivo. Esto se debe a que no se llevan registros históricos de las fallas, no se calculan indicadores de mantenimiento y no siempre hay repuestos disponibles o de buena calidad. Como resultado, los molinos, bombas y motores están presentando problemas, lo que afecta la producción. Sin embargo, los trabajos de mantenimiento se cumplen en el tiempo estimado si no se presentan imprevistos, y los supervisores están comunicados para estar al tanto de las situaciones que se presentan en el proceso de producción.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) son instalaciones complejas que requieren de un funcionamiento continuo y eficiente para garantizar la calidad del agua. Los equipos de bombeo son una parte esencial de estas plantas. Sin embargo, los equipos de bombeo son susceptibles a fallas, lo que puede provocar la interrupción del proceso de tratamiento y la contaminación del medio ambiente. Para evitar este problema, es importante identificar las causas de las fallas de los equipos de bombeo y desarrollar acciones para prevenirlas.

El diagrama de Ishikawa también conocido como diagrama de causa-efecto que se presenta a continuación se desarrolló en base a la información recolectada y suministrada por los expertos. Este diagrama es una representación gráfica de las causas potenciales de los problemas en los sistemas de bombeo de PTAR en Cargill de Venezuela..

Causa-Raiz de paradas no programadas en sistemas de bombeo de Cargill de Venezuela S.R.KL.

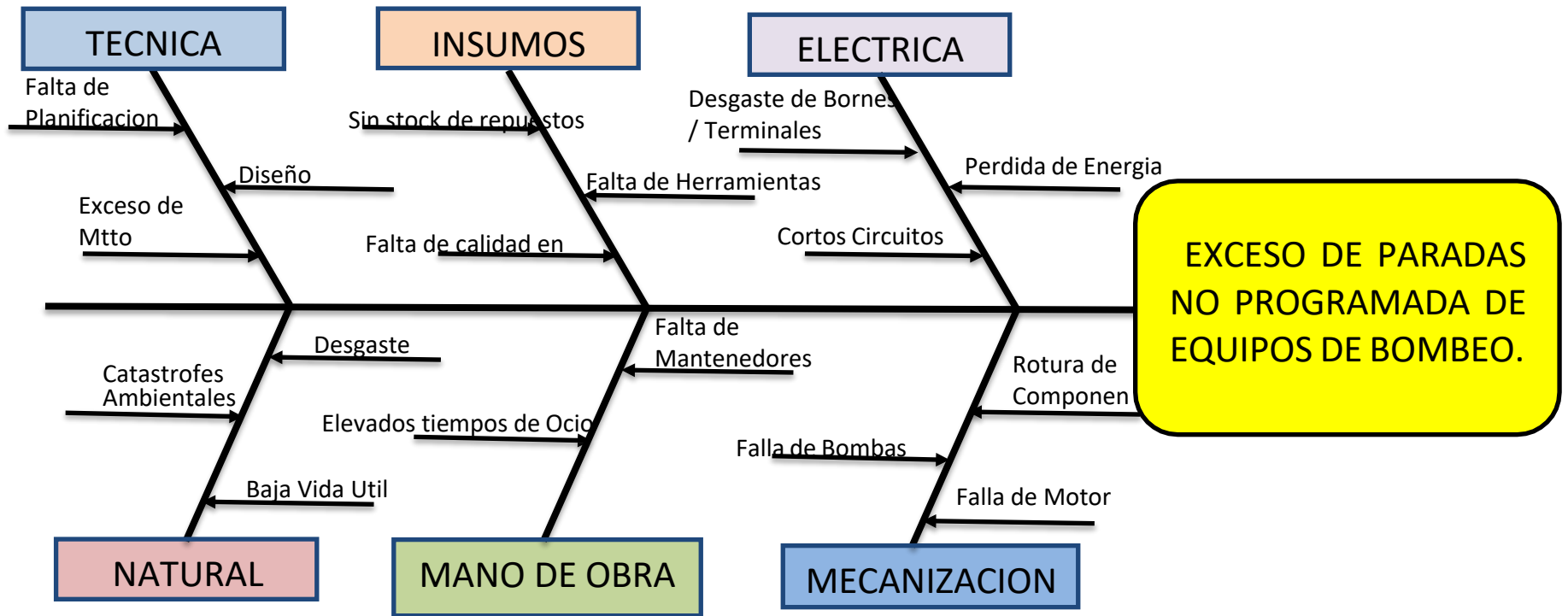


Fig. 9: Causa-Raiz de paradas no programadas en equipos de bombeo.

Fuente: R.Arrieché (2023)

Cuadro 8: Cuantificación de causa - raíz

CAUSA	Cuantificación	Frecuencia	% Frc. Acumulada
MECANIZACION	64	64	33%
INSUMOS	53	117	61%
TECNICA	35	152	79%
ELECTRICA	27	179	93%
MANO DE OBRA	10	189	98%
NATURAL	4	193	100%
Toal	193		

Fuente: R.Arrieché (2023)

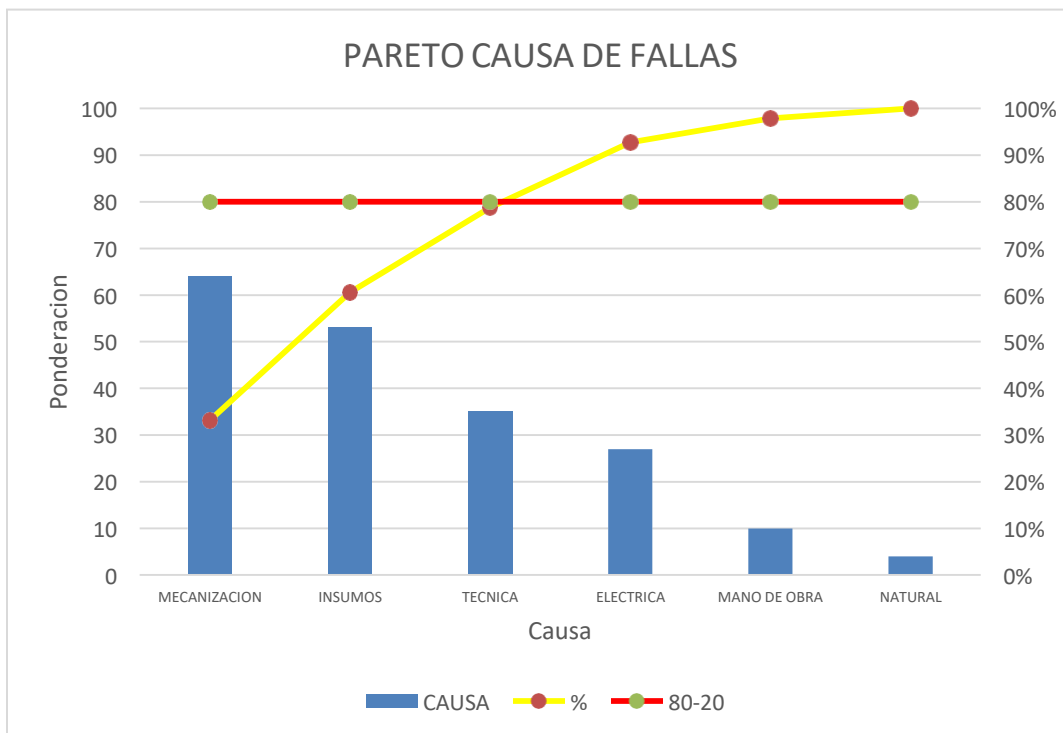


Gráfico 3: Diagrama de Pareto para sistema de bombeo

Fuente: R. Arrieché (2023)

La gráfica muestra que las causas que se encuentran a la izquierda del punto en el que la curva de frecuencia acumulada se cruza con la línea del 80% son las que tienen un mayor impacto en la problemática. Estas causas son las referidas a mecanización, insumos y técnicas

Se registró y detallo las fallas mensuales las cuales se clasificaron según paradas no programadas en el periodo de las pasantías (ver cuadro 9):

Cuadro 9: Registro de paradas no programadas.

Mes	T ciclo (hs)	Nº Fallas	Nº de paradas	Hrs de paro
ENERO	558	7	2	24.05208333
FEBRERO	504	12	4	0.916666667
MARZO	558	17	8	23.9375
ABRIL	540	16	8	0.694444444
MAYO	558	30	15	1.777777778
JUNIO	540	23	19	154.6180556
JULIO	558	36	32	107.9659722
AGOSTO	558	25	20	258.0277778

Fuente: R. Arrieche (2023)

En base a lo anterior mencionado, se planteó definir los indicadores de gestión de mantenimiento, MTBF, MTTR y disponibilidad del sistema de bombeo de PTAR. Para el cálculo del tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo medio para reparar (MTTR) y disponibilidad se utilizaron las siguientes fórmulas:

Tiempo Medio de Falla

$$MTBF = \frac{(TiempoTotalDisponible - Tiempo de parada)}{N^{\text{a}} \text{ de fallas}}$$

Tiempo medio de reparacion

$$MTTR = \frac{Tiempo Total de MTTO}{N^{\text{a}} \text{ de reparaciones}}$$

Disponibilidad

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

Esta información sirvió para realizar los cálculos dando los siguientes resultados: (ver cuadro 10)

Cuadro 10: Cálculos de MTBF & MTTR.

Mes	MTBF	MTTR	Disponibilidad
ENERO	266.97	12.02604167	96%
FEBRERO	125.77	0.229166667	100%
MARZO	66.76	2.9921875	96%
ABRIL	67.41	0.086805556	100%
MAYO	37.08	0.118518519	100%
JUNIO	20.28	8.137792398	71%
JULIO	14.06	3.373936632	81%
AGOSTO	15.00	12.90138889	54%

Fuente: R. Arrieche (2023)

Como se puede apreciar MTBF que se presenta en decadencia generando más paradas en menor tiempo cada mes, mientras que el MTTR es un reflejo que la severidad de las paradas tarda mas en corregir siendo la última en agosto de 12:54 min el tiempo promedio de respuesta. Por último la disponibilidad de los equipos cada vez menos confiables en su tiempo de operación.

Esta información fue utilizada en la fase 2 del RCM para desarrollar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad que abordara estos problemas.

5.2 FASE II: Análisis de las causas de fallos que presenta la PTAR de Cargill S.R.L. mediante un análisis AMEF

Una vez finalizado el diagnóstico de la situación actual, se analizaron las fallas del sistema de bombeo de la empresa Cargill de Venezuela S.R.L. Para ello, se tuvo que definir el contexto operacional de los mismos y sus condiciones operacionales. Con esta información, se pudo aplicar el análisis de modos y efectos de falla (AMEF) para identificar los modos de falla, sus causas, efectos y acciones para corregir o evitarlos.

La revisión documental de los manuales de las máquinas y la lectura de los estados de operatividad de los equipos fueron de gran utilidad para identificar los modos de falla que se presentaban en los equipos en estudio.

Las motobombas son equipos críticos para el proceso de tratamiento de aguas residuales. Estos equipos están sujetos a un alto nivel de desgaste y fallas, debido a las condiciones de operación a las que están expuestos.

5.2.1 Contexto operacional de los equipos críticos

El contexto previo al análisis AMEF que desarrollamos para las bombas de PTAR se basó en los siguientes parámetros:

- Existencia de variedad de marcas y tipos de equipos: Las bombas de PTAR son equipos que pueden ser fabricados por diferentes marcas y en diferentes tipos, según las necesidades específicas de cada proceso. Sin embargo, todos los equipos comparten ciertos componentes básicos, como el impulsor, el motor, el sello mecánico y la carcasa.
- Posibilidad de englobar y clasificar los equipos en base a sus componentes: Dado que todos los equipos comparten ciertos componentes básicos, es posible englobarlos y clasificarlos en base a estos componentes. Esto facilita la identificación de los modos de falla potenciales y sus consecuencias.

El estudio que realizamos se basó en la siguiente metodología:

- Identificación de los componentes básicos de las bombas: Se identificó los componentes básicos de las bombas de PTAR.
- Clasificación de las bombas en base a sus componentes: Se clasificó las bombas de PTAR en base a sus componentes.
- Identificación de los modos de falla potenciales: Para cada componente básico se identificó los modos de falla potenciales.
- Evaluación de las consecuencias de los modos de falla: Para cada modo de falla potencial se evaluó las consecuencias.

La organización del análisis AMEF se realizó de la siguiente manera: (Ver fig 9)


		<h1 style="margin: 0;">AMEF</h1>					MANTENIMIENTO			
							SISTEMA			
							CODIGO			
		Falla								
SISTEMA	MARCA	ITEM	MODO DE FALLA	EFECTOS	CAUSA DE LA FALLA	S	O	D	NPR	Consecuencias

Fig 10: Organización del AMEF

Fuente: R. Arrieche (2023)

El análisis AMEF que desarrollamos nos permitió identificar los modos de falla potenciales y sus consecuencias para las bombas de PTAR. Esta información es valiosa para la implementación de acciones de mejora para reducir el riesgo de fallas y sus consecuencias.

En cuanto a las condiciones operacionales de los equipos se distribuyeron en base a los siguientes parámetros: (ver cuadro 10)

Cuadro 11: Condiciones Operacionales.

CONDICIONES OPERACIONALES				
AREA	SISTEMA	CODIFICACION / TAG	ITEMS	MARCAS
PTAR	TRAMPAGRASAS	M-10014 A, P-10014 A, P-10014 B, M-10014 C, P-10014 C, M-10013, P-10013, M-10011 A, P-10011 A, M-10011 B, P-10011 B, M-10011 C, P- 10011 C, P-10013 C, M-10013 C, M-10013 B, P-10013 B, M-10012 A, M-10012 B, P-10012 A, P-10012 B, M-10014 A, P-10014 A, P-10014 B, M-10014 C, P-10014 C, M-10013, P-10013, M-10011 A, P-10011 A, M-10011 B, P-10011 B, M-10011 C, P- 10011 C, P-10013 C, M-10013 C, M-10013 B, P-10013 B, M-10012 A, M-10012 B, P-10012 A, P-10012 B	BOMBAS	KSB BOMBAGUA
				US MOTORS
	ACHIQUE	P – 10016, M – 10016, P- 10012 C, M - 10012 C, P – 10017, M-10017, P – 10019, M – 10019, P-10018, M – 10018, P – 10020, M – 10020, P – 10015, M - 10015	MOTORES	WEG BALDOR
	PTAR	M-10001 A, P-10001 A, M-10001 B, P-10001 B, P-10001 C, P-10002 A, M-10002 A, M-10002 B, P-10002 B, M-10002 C, P-10002 C, B-10002, A-10003 A, A-10003 B, P-10003, M-10003		WESTINGHOUSE SIEMENS

Fuente: R. Arrieche (2023)

En el cuadro 10 se describe que marcas y modelos de bombas están los sistemas de PTAR y agrupando los equipos que pertenecen a cada categoría para hacer más comprensible el análisis de modos de falla, por ende se desarrolla 8 modelos de AMEF distintos para cada marca ya que los componentes que integran a los ítems son distintos pero componen varios equipos de los mismos modelos.

Tabla 6: Análisis de modos y efectos de falla (AMEF) del sistema de tratamiento de aguas residuales de Cargill.

SISTEMA	MARCA	Nº	ITEM	Nº	MODO DE FALLA	Nº	EFFECTOS	CAUSA DE LA FALLA	Consecuencias
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	KSB, BOMBAGUA, GOLDPUMP	1	RODAMIENTO	A	Desgaste en los rodamientos	1	Reducción de la eficiencia	Lubricación insuficiente o inadecuada. Mala instalación del rodamiento o desgaste natural Sobrecarga o funcionamiento a altas velocidades. Vibraciones excesivas debido a un desequilibrio en la base	Puede resultar en una disminución del rendimiento de la bomba. Posibles daños adicionales a otros componentes Puede provocar un funcionamiento ineficiente y posibles daños a los rodamientos. Puede resultar en una interrupción completa del funcionamiento de la bomba.
						2	Ruido y vibraciones		
						3	Aumento de la temperatura:		
						4	Parada por castastro		
		2	IMPULSOR	B	Daño en el impulsor	1	Pérdida de rendimiento	Desgaste prematuro de otros componentes Operación en condiciones de baja o alta viscosidad Operación en condiciones de cavitación Vibraciones Excesivas del motor	Puede afectar la capacidad de la bomba para entregar el caudal y la presión requeridos. Pueden indicar un mal funcionamiento y posibles daños a otros componentes. Puede afectar la capacidad de la bomba para iniciar el bombeo y mantener el flujo adecuado. Puede resultar en una vida útil reducida de los componentes debido a
						2	Vibraciones y ruidos anormales		
						3	Pérdida de cebado		
						4	Desgaste prematuro de		

Continuación del AMEF del sistema de tratamiento de aguas residuales de Cargill de Venezuela S.R.L.

					5	otros componentes Ineficiencia energética	Operación en condiciones de sobrecarga	vibraciones excesivas del motor. Puede aumentar el consumo de energía y los costos operativos debido a la operación en condiciones de sobrecarga.	
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	KSB, BOMBAGUA, GOLDPUMP	3	SELLO	C	Fugas en los sellos	1	Sobrecarga o presión excesiva	Causa de deformación o el desgaste prematuro del sello bajo condiciones de alta presión.	Puede causar deformación o desgaste prematuro del sello bajo condiciones de alta presión.
						2	Contaminación del entorno	Instalación incorrecta del sello, ajuste inadecuado, una alineación incorrecta de las partes del sello o una falta de apriete adecuado de los componentes del sello	Puede resultar de una instalación incorrecta del sello, ajuste inadecuado, alineación incorrecta de las partes del sello o falta de apriete adecuado de los componentes del sello.
						3	Desgaste prematuro de componentes	El desgaste natural o daño por vibración excesiva	Puede ocurrir debido al desgaste natural o daño por vibración excesiva.
						4	Pérdida de cebado	Contaminación o partículas abrasivas	Puede ser causada por contaminación o partículas abrasivas.
		4	MOTOR	D	Falla en el motor eléctrico	1	Detención del bombeo	Si la bomba se opera más allá de su capacidad nominal o se somete a cargas excesivas	Si la bomba se opera más allá de su capacidad nominal o se somete a cargas excesivas, puede

Continuación del AMEF del sistema de tratamiento de aguas residuales de Cargill de Venezuela S.R.L.

					2	Sobrecalentamiento	na mala instalación del sistema de enfriamiento o la falta de protección adecuada pueden contribuir a las fallas.	resultar en la detención del bombeo. Una mala instalación del sistema de enfriamiento o la falta de protección adecuada pueden contribuir a las fallas del motor eléctrico.	
					3	Pérdida de presión o caudal	El desgaste natural o el daño en los componentes del motor, como los rodamientos, los devanados o los contactos eléctricos,	El desgaste natural o el daño en los componentes del motor, como los rodamientos, los devanados o los contactos eléctricos, pueden resultar en una pérdida de presión o caudal.	
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	KSB, BOMBAGUA, GOLDPUMP				4	Consumo excesivo de energía	Las fluctuaciones de voltaje, las sobretensiones, los cortes de energía o los problemas en la calidad de la alimentación eléctrica	Las fluctuaciones de voltaje, las sobretensiones, los cortes de energía o los problemas en la calidad de la alimentación eléctrica pueden llevar a un consumo excesivo de energía o parada de equipo por daños a componentes eléctricos	
		5	EJE	E	Desgaste en el eje de la bomba	1	Fugas de líquido	Calidad deficiente del material	Puede causar deformación o desgaste prematuro del sello bajo condiciones de alta presión.

Continuación del AMEF del sistema de tratamiento de aguas residuales de Cargill de Venezuela S.R.L.

					2	Pérdida de presión o caudal		<p>Puede resultar de una instalación incorrecta del sello, ajuste inadecuado, alineación incorrecta de las partes del sello o falta de apriete adecuado de los componentes del sello.</p>
					3	Daño a otros componente	<p>Uso prolongado o desgaste natural</p> <p>Si el líquido bombeado contiene partículas abrasivas o sustancias corrosivas, estas pueden causar desgaste en el eje</p>	<p>Puede ocurrir debido al desgaste natural o daño por vibración excesiva.</p>
					4	Mayor consumo de energía	<p>Mala alineación</p>	<p>Puede ser causada por contaminación o partículas abrasivas.</p>
					5	Vibraciones y ruidos anormales	<p>Una mala alineación entre el eje y los componentes circundantes puede generar cargas y fuerzas desiguales en el eje</p>	<p>Señal de que la bomba necesita ser reparada o reemplazada. También desgasta otros componentes</p>
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	KSB, BOMBA GUA, GOLDPUMP	6	EMPACADURA ESTOPERA	F	Fugas por empacaduras	1	Desgaste prematuro	<p>Desgastan naturalmente con el tiempo, pero pueden desgastarse prematuramente si están expuestas a condiciones adversas</p>
					2	Fugas de líquido en la bomba	<p>Desgaste natural o el daño físico de la empacadura</p> <p>Instalación incorrecta de la empacadura</p>	<p>Desgastan naturalmente con el tiempo, pero pueden desgastarse</p>

Continuación del AMEF del sistema de tratamiento de aguas residuales de Cargill de Venezuela S.R.L.

					3	Disminución en el rendimiento de la bomba	Contaminantes que contiene partículas sólidas o sustancias corrosivas.	prematuramente si están expuestas a condiciones adversas
					4	Vibraciones y ruidos anormales	Instalación incorrecta de la empaadura o desgaste de la misma	Reduccion la eficiencia de la bomba Las vibraciones pueden dañar los componentes de la máquina y provocar su parada
		7	CARCASA	G	1	Fugas de líquido	Desgaste natural o el daño físico debido al uso prolongado, impactos o condiciones adversas	Puede ocurrir debido al desgaste natural o daño físico causado por el uso prolongado, impactos o condiciones adversas.
					2	Sobrecalentamiento	Inadecuada disipación del calor generado durante el funcionamiento	Una inadecuada disipación del calor generado durante el funcionamiento puede resultar en sobrecalentamiento de la carcasa.
					3	Corrosión	La exposición a líquidos corrosivos o ambientes corrosivo	La exposición a líquidos corrosivos o ambientes corrosivos puede causar corrosión en la carcasa.

Continuación del AMEF del sistema de tratamiento de aguas residuales de Cargill de Venezuela S.R.L.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	KSB, BOMBAGUA, GOLDPUMP	8	ACOPLE	H	Desgaste de Acople	4	Infiltración de sedimentos o contaminantes	El uso de materiales de baja calidad en la fabricación de la carcasa	El uso de materiales de baja calidad en la fabricación de la carcasa puede permitir la infiltración de sedimentos o contaminantes
						1	Falta de alineación	Falta de alineación o corrosión	Parada de la máquina por falta de potencia
						2	Sobrecarga	Ocurre cuando el acoplamiento está sujeto a una fuerza mayor de la que está diseñado para soportar	El sobrecalentamiento puede dañar los componentes del acoplamiento y provocar su parada.
						3	Corrosión	Esto puede causar que los materiales se degraden y que el acoplamiento falle.	La exposición a líquidos corrosivos o ambientes corrosivos puede causar corrosión en la carcasa y desgaste de piezas
						4	Falla mecánica	Pueden fallar debido a defectos en los materiales o el proceso de fabricación.	La mala calidad de materiales puede causar un fallo provocando una parada innecesaria

Fuente: R. Arrieche (2023)

Jerarquización de las fallas mediante la asignación del número de prioridad de riesgo (NPR)

Una vez realizado el análisis de modos y efectos de falla (AMEF), se procede a jerarquizar las fallas mediante la asignación del grado de severidad, ocurrencia y detección, de esta forma se pueden priorizar aquellos modos de falla cuyo NPR sea mayor, es decir, aquellos modos de falla cuyo riesgo sea mayor. Rango de valores: (ver cuadro 12).

- 1-124 riesgo de falla bajo
- 125-499 riesgo de falla medio
- 500-1000 riesgo de falla alto

Cuadro 12: Número de prioridad de riesgo para cada modo de fallo

SISTEMA	BOMBAS	CODIFICACION			S	O	D	NPR
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	KSB, BOMBAGUAG OLDPUMP	1	A	1	8	7	6	336
				2	9	7	8	504
				3	7	6	6	252
				4	10	3	7	210
		2	B	1	8	5	7	280
				2	9	4	8	288
				3	7	6	8	336
				4	8	7	6	336
				5	6	7	8	336
		3	C	1	8	6	7	336
				2	9	7	8	504
				3	8	6	7	336
				4	7	5	8	280
		4	D	1	5	3	8	120
				2	7	5	6	210
				3	7	4	7	196
				4	8	7	5	280
		5	E	1	8	6	7	336
				2	7	4	7	196
				3	7	5	6	210
				4	8	7	5	280
				5	9	4	8	288
		6	F	1	8	6	7	336
				2	9	6	9	486
				3	7	6	8	336
				4	6	7	8	336
		7	G	1	8	5	9	360
				2	7	5	6	210
				3	4	8	10	320
				4	5	2	3	30
		8	H	1	8	6	7	336
				2	8	5	5	200
3	4			8	9	288		

Fuente: R. Arrieche (2023)

Análisis de Criticidad para los equipos de PTAR

El análisis de criticidad es una herramienta que se utiliza para identificar los equipos más críticos de un sistema. Los equipos críticos son aquellos que, si fallan, pueden provocar una interrupción del servicio o un daño significativo.

En el caso de las PTAR, los equipos críticos son aquellos que son esenciales para el funcionamiento del sistema. Estos equipos incluyen, por ejemplo, las bombas, los motores, los tanques y los control e instrumentación que componen cada equipo de trabajo. El análisis Permite identificar los equipos más críticos del sistema y priorizar las acciones de mantenimiento para cada uno de ellos.

Cuadro 13. Guía de criterios para análisis de criticidad.

CRITERIOS	
RATE DE FALLAS	PONDERACION
FRECUENCIA DE FALLAS	
No mas de 1 fallas/año	1
Entre 2 y 3 fallas/año	2
Entre 4 y 5 fallas/año	3
Mas de 6 fallas año	4
COSTO DE REPACION \$	
de 0\$ a 250\$/por falla	1
entre 251\$ a 999\$ por falla	2
Mas de 1000\$ por falla	4
SEGURIDAD, SALUD & AMBIENTE	
Genera contaminacion y Lesion agravada	8
Genera contaminacion pero no lesion grave	4
No Genera contaminacion pero si lesion grave	2
No genera contaminacion ni problemas al ambiente.	1
PRODUCCION	
No genera impacto significativo	1
Detiene parcialmente el sub-sistema de tratamiento del agua	2
Detiene el sistema de tratamiento del agua	4
Detiene todo el proceso de produccion & tratamiento	8
TPPR (Tiempo promedio de falla)	
Menos de 4 hrs	1
Entre 4 y 8 horas	2
Entre 9 y 24 hrs	3
Mas de 24 Hrs	4
CALIDAD	
Afecta la calidad del fluido del proceso	1
No afecta la calidad del fluido del proceso	0

Fuente: R. Arrieche (2023)

Para clasificar cada equipo en base a los criterios se estableció que se dividirían en 3 categorías siendo:

- Negro para los equipos altamente críticos,
- Gris para equipos medianamente críticos
- Blanco para equipos con baja criticidad. Para tener mejor referencia ver la figura 10.


		Matriz de Riesgo				
		CONSECUENCIA				
		Minima	Menor	Moderada	Mayor	Maxima
FRECUENCIA		1	2	4	8	16
Alta	4	4	8	16	32	64
Moderada	3	3	6	12	24	48
Baja	2	2	4	8	16	32
Nula	1	1	2	4	8	16

Fig. 11. Matriz de Riesgo de criticidad

Fuente: R. Arrieche (2023)

Tabla 5. Análisis de Criticidad para equipos de PTAR

ITE	TAG	ANGO TO	STATU
1	M-10014 A	28,0	GRAY
2	P-10014 A	28,0	GRAY
3	P-10014 B	42,0	BLACK
4	M-10014 C	21,0	GRAY
5	P-10014 C	21,0	GRAY
6	M-10013	8,0	WHITE
7	P-10013	8,0	WHITE
8	M-10011 A	20,0	GRAY
9	P-10011 A	20,0	GRAY
11	M-10011 B	33,0	BLACK
12	P-10011 B	33,0	BLACK
13	M-10011 C	22,0	GRAY
14	P- 10011 C	22,0	GRAY
15	P-10013 C	8,0	WHITE
16	M-10013 C	8,0	WHITE
17	M-10013 B	8,0	WHITE
18	P-10013 B	8,0	WHITE
19	M-10012 A	22,0	GRAY
20	M-10012 B	22,0	GRAY
21	P-10012 A	22,0	GRAY
22	P-10012 B	22,0	GRAY
23	P - 10016	14,0	GRAY
24	M - 10016	14,0	GRAY
25	P- 10012 C	7,0	WHITE
26	M - 10012 C	7,0	WHITE
27	P - 10017	14,0	GRAY
28	M-10017	14,0	GRAY
29	P - 10019	14,0	GRAY
30	M - 10019	14,0	GRAY
31	P - 10018	21,0	GRAY
32	M - 10018	21,0	GRAY
33	P - 10020	14,0	GRAY
34	M - 10020	14,0	GRAY
35	P - 10015	7,0	WHITE
36	M - 10015	7,0	WHITE
37	M-10001 A	11,0	GRAY
38	P-10001 A	11,0	GRAY
39	M-10001 B	11,0	GRAY
40	P-10001 B	11,0	GRAY
41	P-10001 C	32,0	BLACK
42	P-10002 A	24,0	GRAY
43	M-10002 A	24,0	GRAY
44	M-10002 B	22,0	GRAY
45	P-10002 B	22,0	GRAY
46	M-10002 C	34,0	BLACK
47	P-10002 C	34,0	BLACK
48	P- 10006	24,0	GRAY
49	M-10009	28,0	GRAY
50	P-10003	20,0	GRAY
51	M-10003	20,0	GRAY
52	P-10023	7,0	WHITE
53	M-10023	7,0	WHITE

Fuente: R. Arrieche (2023)

La fórmula utilizada para el cálculo del total de criticidad fue la siguiente:

$$FF \times ((FO * TPPR * IO) + SHA + CP + CM)$$

Una vez realizados los cálculos del total de criticidad con la respectiva fórmula, se puede visualizar las bombas críticas se encuentran en el área de PTAR, siendo las siguientes:

- P-10014 B - 10007: TRAMPA DE GRASA PRINCIPAL
- P-10011 B - 10007: TRAMPA DE GRASA PRINCIPAL
- P-10001 C- 10001: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PTAR
- P-10002 C - 10001: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PTAR

Estos equipos requieren ser atendidos de manera correctiva y posteriormente insertados al plan de mantenimiento preventivo tanto a las bombas como los motores.

FASE III: Diseño de un sistema de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para los equipos de la PTAR de Cargill S.R.L.

Con la información recopilada en la fase anterior, se procedió a realizar el plan de mantenimiento centrado en confiabilidad con los procedimientos generales a través de un cronograma semanal, mensual y semestral de las actividades a realizar para mejorar la confiabilidad de los equipos, así como también la elaboración de formatos de reportes de mantenimiento en caso de ser necesario.

Una vez aplicado el análisis de modo y efectos de falla y el análisis de criticidad se obtiene de manera ordenada las actividades o tareas de mantenimiento a realizar, estas se determinan según indicaciones de los especialistas en el área de mantenimiento y reparación de este tipo de proceso productivo, tomando en cuenta todos los factores que influyen en el tiempo de reparación. Se desarrolla en cuadro xx el tipo de mantenimiento que se realiza comprendiendo que las tareas de diagnóstico son las empleadas para evaluar posibles fallos en los componentes de los equipos de bombeo. (Ver cuadro 14)

Cuadro 14: Hoja de decisión RCM

TIPO	ACTIVIDAD	TAREA	RESPONSABLE	Hz	HERRAMIENTAS
PREDICTIVA	INSPECCIÓN	INPECCION VISUAL DE COMPONENTES	OPERADOR	MENSUAL	CHEK LIST
	DIAGNOSTICO	ANALISIS DONAMICO	MECANICO	TRIMESTRAL	Multímetro Detector de ultrasonidos Cámara termográfica o Pirometro Analizador de vibraciones: Caudalímetro Cinta métrica Analizador de vibraciones
		ANALISIS ESTATICO	MECANICO		
		ULTRASONIDO	MECANICO		
		ANALISIS DE VIBRACIONES	MECANICO		
		ANALISIS TERMOGRAFICO	MECANICO		
		MEDICION DE ENERGIA	ELECTRICISTA		
PREVENTIVA	AJUSTES Y LIMPIEZA	CALIBRAR INSTRUMENTACION	INSTRUMENTISTA	ANUAL	Destornilladores Espátula Brocha Llaves
		LIMPIEZA DE AREA DETERMINADA	MANTENEDOR		
		AJUSTE DE COMPONENTES	MECANICO		
PREVENTIVA	LUBRICACIÓN	LUBRICACION CON ACEITE	MANTENEDOR	TRIMESTRAL	Pistola engrasadora Limpiador de alta presión
		LUBRICACION CON GRASA	LUBRICADOR		
BASADO EN CONDICION	REEMPLAZO DE PARTES	REEMPLAZO DE RODAMIENTOS	MECANICO	BAJO CONDICION	Llaves Martillo Alicates Sierra Destornilladores Espátula Brocha Llave de Tubo Trapos, Alicates, Teflon y/o Pega
		REEMPLAZO DE SELLOS	MECANICO		
		REEMPLAZO DE EMPACADURA	MECANICO		
		REEMPLAZO DE MOTOR	MECANICO & ELECTRICISTA		
		REEMPLAZO DE BOMBA	MECANICO		

Fuente: **R. Arrieche.**

Dada la información en la hoja de decisión se plantea explicar que recursos son necesarios para la elaboración del plan, puntos que son fundamentales para comprender que con cada actividad realizada engloba la serie de tareas que priorizan buscar prevenir fallos inesperados por la información de los componentes de las bombas y motores en Servicios Industriales de la empresa. Cargill de Venezuela S.R.L.

La lista de tareas recomendadas para prevenir y corregir fallos presentes en los equipos de componen el sistema de bombeo de PTAR; generan una mejor interacción entre las sub áreas del proceso de tratamiento de aguas, a su vez mejorar la gestión de mantenimiento.

Para la implementación de este plan, también es necesario contar con un equipo compuesto por:

- Un responsable del proyecto: Que tenga la capacidad de saber organizar y darle seguimiento al equipo en la realización de sus labores o tareas pudiendo ser un supervisor o jefe del área, se les deberá brindar capacitación y evaluación para realizar las actividades de diagnóstico.
- Un grupo de especialistas en instrumentación, mecánica y electricistas que sean capaces de cumplir y tenga la capacitación necesaria para realizar las tareas de diagnóstico, preventiva o de remplazo de componentes.

Otro requisito necesario es el conocer las características de los equipos que interactúan en los distintos niveles de criticidad de los subsistemas de PTAR, al no poseer información, se procedió a recopilar información de las bombas y motores siguiendo esta plantilla (ver figuras 11 y 12)



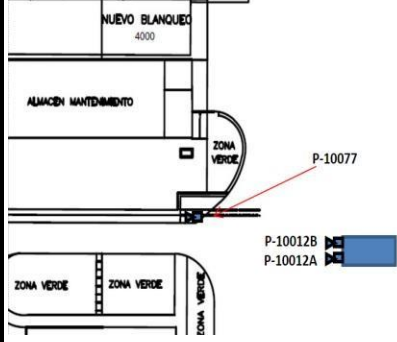
	FICHA TECNICA MOTOR		MANTENIMIENTO		
			AREA	10000	
			CRITICIDAD	GRAY	
IMAGEN GENERAL	FUNCION	UBICACION			
	Motor de envio de agua de vigilancia a drenaje				
EQUIPO:		MOTOR			
TAG/CODMAX:	P-10012 A	Marca:	BALDOR	TENSION	230 / 460
AREA	10000 PTAR	MOD:	M2333T	HZ	60
SUB- AREA	10010: TRAMPA DE	RPM	1750	REPUESTOS	
ENTRADA	FOSA VIGILANCIA	HP/Kw	15 HP	RODAMIENTO	6209 - C3
SALIDA	DRENAJE	FRAME	254 T		6307 - C3

Fig. 11. Ficha Técnica de Motores

Fuente: R. Arrieche (2023)



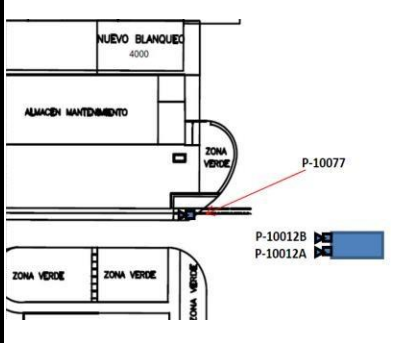
	FICHA TECNICA BOMBA		MANTENIMIENTO		
			AREA	10000	
			CRITICIDAD	GRAY	
IMAGEN GENERAL	FUNCION	UBICACION			
	Bomba de envio de agua a drenaje				
EQUIPO:		BOMBA			
TAG/CODMAX:	P-10012 A	Marca:	KSB	REPUESTOS	
AREA	10000 PTAR	MOD:	610 45 483 AB	IMPULSOR	CENTRIFUGO 7"
SUB- AREA	10010: TRAMPA DE	Q (lps)	23 L/s	ACOPLA	D - 5
ENTRADA	FOSA VIGILANCIA	HP	5 HP	SELLO	VITON 1 1/8 SILICIO SILICIO
SALIDA	DRENAJE	TIPO	ETA 100 - 200	ESTOPERA	FLEX 1 1/8"


Fig. 12. Ficha Técnica de Bombas.

Fuente: R. Arrieche (2023)

Siendo como paso final para la elaboración del plan de mantenimiento, La identificación y cada tipo de tarea de mantenimiento establecida va dirigida a cada modo de falla analizado, sin embargo, puede presentarse una tarea que permita atacar varios modos de falla al mismo tiempo. Una vez realizada la hoja de decisión RCM y el levantamiento de todos los activos en planta se puede visualizar que se presentan en su mayoría tareas de mantenimiento basadas en condición para intentar anticiparse a los modos de fallo que se describen en el AMEF, es por ello que a continuación se presenta un cronograma para la ejecución del plan de mantenimiento correctivo, preventivo, de lubricación y predictivo basado en la criticidad de los activos y las características de sus componentes.

En este mismo sentido, el cronograma presenta actividades de mantenimiento preventivo y predictivo para cada subsistema estudiado en el AMEF, con la frecuencia de ejecución de cada una de ellas antes, los días estipulados en el cronograma son tentativos y pueden variar dependiendo de las circunstancias. (Ver gráfico 4)

Cuadro 15: Diagrama de Gant para Mtto Correctivo

		PLAN DE MTTO CORRECTIVO			
		ELABORADO	REVISADO	HOY	jueves, 26 de octubre de 2023
ROAL ARRIECHE		ING. SOFIA RANGELO	INICIO	sábado, 1 de abril de 2023	
ACTIVIDAD	OT DE TRABAJO	INICIO	FIN	DIAS	PROGRESS
REEMPLAZO DE BOMBA	448990	01-abr	abr-23	3	100%
AJUSTE DE BASE PARA BOMBA	458950	01-abr	04-abr	3	100%
CAMBIO DE ACOPLA	458978	01-may	01-jul	61	100%
CORRECCION DE FUGAS	462360	01-jul	01-sep	62	100%
REVISION DE CARCACASA	462468	14-ene	30-dic	350	81%
LUBRICACION DE EQUIPOS	463898	05-may	01-dic	210	83%
AJUSTE DE TUBERIA	463997	01-sep	01-nov	61	90%
REEMPLAZO DE SELLO	464123	01-oct	01-nov	31	81%
MONTAJE DE BOMBA LOGISTICA	464404	01-nov	31-dic	60	0%
DESTAPADO DE TUBERIA	464965	01-nov	31-dic	60	0%
REINSTALACION DEL DAF	473877	01-dic	31-dic	30	0%
LIMPIEZA DE TK DAF	480320	30-nov	30-dic	30	0%

Fuente: R. Arrieche (2023)

Cuadro 17: Formato para Inspecciones semanales.

PLANILLA DE MONITOREO DE EQUIPOS DE BOMBEO							
TAG	Nivel de lubricante en		Fugas por sello		Condiciones Mecánicas		FECHA: / /
	OPTIMO	DEFICIENTE	SI	NO	BUENO	DETERIORADO	Observación
P-10014 C							
M-10011 A							
P-10011 A							
M-10011 C							
P- 10011 C							
M-10012 A							
M-10012 B							
P-10012 A							
P-10012 B							
P - 10016							
M - 10016							
P - 10017							
M-10017							
P - 10019							
M - 10019							
P - 10018							
M - 10018							
P - 10020							
M - 10020							
M-10001 A							
P-10001 A							
M-10001 B							
P-10001 B							
P-10002 A							
M-10002 A							
M-10002 B							
P-10002 B							
P- 10006							
M-10009							
P-10003							
M-10003							
M-10013							
P-10013							
P-10013 C							
M-10013 C							
M-10013 B							
P-10013 B							
P- 10012 C							
M - 10012 C							
P - 10015							
M - 10015							
P - 10020							
M - 10020							

Fuente: R. Arrieche.

Siguiendo el principio del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), los operarios deben ser capacitados para realizar actividades de mantenimiento que puedan identificar y prevenir fallas. En este sentido, se propone que los operarios realicen actividades de limpieza, inspección y ajustes rutinarios al momento de implementar las actividades de mantenimiento. A medida que avanza el tiempo, los operarios podrán adquirir conocimientos para realizar actividades de lubricación y reparaciones menores.

Para contribuir a la gestión de mantenimiento se propuso realizar un Listado de repuestos, es una herramienta esencial para la prevención de fallas. Al tener los repuestos necesarios disponibles, las empresas pueden evitar paradas imprevistas y enfatiza al cumplimiento del plan. El listado de repuestos puede ayudar a mejorar la eficiencia del mantenimiento. Al organizar los inventarios de repuestos, las empresas pueden encontrar los repuestos necesarios de manera rápida y fácil.

Para facilitar el conteo de los repuestos, se agrúpalos modelos similares y se calculó cuántos hay de cada uno. A continuación, presento la lista agrupada con la cantidad de cada tipo de repuestos: (Ver cuadro 18)

Cabe destacar que la empresa cuenta con todas las herramientas necesarias para realizar las actividades del plan, así como el personal necesario que solo necesita capacitación por eso no se toma en consideración para la elaboración de OT

Cuadro 18: Listado de Repuesto.

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO	TOTAL
SELLO	MEC. BUNA 1 1/4 CARBON/CERAMICA	6	\$ 15,00	\$ 90,00
	VITON 1 1/2 SILICIO/SILICIO	8	\$ 8,00	\$ 64,00
	VITON 1 1/4 SILICIO/SILICIO	4	\$ 6,00	\$ 24,00
	VITON 1 1/8 SILICIO SILICIO	14	\$ 4,00	\$ 56,00
	MEC. 15/16" EKATO ESD34G Doble cara	2	\$ 20,00	\$ 40,00
	1 1/4 MEC CARBON/CERAMICA	8	\$ 8,00	\$ 64,00
	1 3/8 MEC CARBON/CERAMICA	2	\$ 6,00	\$ 12,00
IMPULSOR	CENTRIFUGO 2"	10	\$ 20,00	\$ 200,00
	CENTRIFUGO 1,5"	2	\$ 15,00	\$ 30,00
	AXIAL 2"	12	\$ 10,00	\$ 120,00
	CENTRIFUGO 4"	6	\$ 25,00	\$ 150,00
	CENTRIFUGO 15/16"	4	\$ 30,00	\$ 120,00
	CENTRIFUGO 1/2"	1	\$ 20,00	\$ 20,00
	CENTRIFUGO 0,4"	2	\$ 30,00	\$ 60,00
ESTOPERA	FLEX 1 1/8"	10	\$ 5,00	\$ 50,00
	FLEX 10 mm	2	\$ 3,00	\$ 6,00
ACOPLE	D - 5	16	\$ 20,00	\$ 320,00
	Type U 1 1/8"	2	\$ 100,00	\$ 200,00
	D - 3	2	\$ 15,00	\$ 30,00
RODAMIENTOS	TRASERO:			
	6305 - ZZ - C3	10	\$ 1,50	\$ 15,00
	6207 - ZZ	2	\$ 1,60	\$ 3,20
	6206 - ZZ	3	\$ 2,20	\$ 6,60
	6307 - ZZ	4	\$ 2,00	\$ 8,00
	6004 - ZZ C3	2	\$ 1,80	\$ 3,60
	6205-2RS1	1	\$ 2,80	\$ 2,80
	DELANTERO:			
	6307 - ZZ - C3	27	\$ 2,50	\$ 67,50
	6309 - ZZ - C3	12	\$ 2,00	\$ 24,00
	6205 - ZZ	5	\$ 3,00	\$ 15,00
	6210 - C3	2	\$ 2,00	\$ 4,00
	6308 - ZZ	2	\$ 1,50	\$ 3,00
	6306 - ZZ	2	\$ 2,60	\$ 5,20
LUBRICANTE	VENOCO Venoengranaje 220	1	\$ 400,00	\$ 400,00
	SQ Formula mecanica	24	\$ 2,50	\$ 60,00
				\$ 2.273,90

Fuente: R. Arrieche.

Propuesta de ejecución de las 5S

El método de las 5S es una técnica de gestión japonesa que consiste en cinco principios simples para organizar, limpiar y mantener un lugar de trabajo seguro y eficiente.

1. Seiri: Organización, consiste en identificar los materiales necesarios e innecesarios. Para ello, se debe:

- Identificar los materiales o herramientas que se utilizan en el área de trabajo.
- Identificar los materiales o herramientas que no se utilizan.
- Verificar el stock de los materiales o herramientas necesarios.
- Establecer una lista de los materiales necesarios en caso de requerirlos.

Esto permite:

- Ajustar el stock a lo necesario.
- Mejorar la capacidad de almacenamiento.
- Evitar la adquisición de materiales o herramientas innecesarias.

2. Seiton: Orden, consiste en determinar el lugar indicado para colocar cada material o herramienta necesaria. Para ello, se debe:

- Ordenar las herramientas por criterios de frecuencia de uso.
- Identificar la zona de localización.
- Ubicar cada herramienta en su lugar correspondiente.
- Verificar que la herramienta es fácil de identificar, acceder y colocar en el lugar.

Esto permite:

- Ahorrar tiempos de búsqueda.
- Facilitar la ubicación de materiales, herramientas y documentos.

3. Seiso: Limpieza, consiste en determinar un procedimiento de limpieza que permita mantener el lugar de trabajo libre de suciedad. Para ello, se debe:

- Limpiar las herramientas cada vez que se van a guardar en el lugar previamente determinado.
- Limpiar de forma externa la maquinaria.
- Dejar limpia el área de trabajo una vez realizada cualquier tipo de actividad.
- Identificar un lugar adecuado para la realización de la limpieza de las herramientas.

Esto permite:

- Aumentar la vida útil de las herramientas.
- Prevenir accidentes.
- Mejorar el aspecto de la planta.

4. Seiketsu: Estandarización, consiste en mantener lo logrado en las tres primeras “S”. Para ello, se debe:

- Estandarizar los procedimientos ya mencionados.
- Establecer en una cartelera los procedimientos para su visualización y recordatorio al personal de la planta.

Esto permite:

- Mejorar el clima laboral.
- Adquirir hábitos para evitar riesgos e imprevistos.

5. Shitsuke: Disciplina, se pretende establecer una cultura de trabajo con los estándares ya establecidos y por los logros alcanzados en cuanto a organización, limpieza y orden. Para ello, se debe:

- Identificar las mejoras y cambios que se han presentado con las cinco “S”.
- Cumplir y respetar los procedimientos.
- Documentación para visualizar el antes y el después de la ejecución de los procedimientos de las primeras tres “S”.
- Desarrollo y aporte de ideas para el mejoramiento de los procedimientos y trabajo de los involucrados.

Esto permite:

- Promover la filosofía de mejora continua.
- Aumentar la motivación de los empleados.

Etiquetas

Las etiquetas son una herramienta importante que permite la identificación y el registro de equipos. En el caso de las bombas las etiquetas pueden proporcionar información vital sobre el equipo, como su ubicación, tipo, tamaño, fabricante, número de serie y fecha de instalación,

todo esto registrado previamente en una data y codificándolo con un TAG. El uso de etiquetas para la identificación y registro de bombas y motores tiene los siguientes beneficios:

- Mejora la eficiencia: Las etiquetas pueden ayudar a los trabajadores a encontrar rápidamente el equipo que necesitan. Esto puede ahorrar tiempo y mejorar la productividad.
- Mejora el mantenimiento: Las etiquetas pueden ayudar a los técnicos a realizar el mantenimiento adecuado del equipo. Por ejemplo, una etiqueta puede indicar la frecuencia con la que se debe lubricar una bomba.

El formato de etiqueta que se muestra en la fig. 10 es un ejemplo de cómo se puede utilizar las etiquetas para la identificación y registro de bombas y motores. El formato incluye los siguientes campos:

- Tag: Este campo identifica el código del activo
- Equipo: Este campo identifica el equipo al que se aplica la etiqueta.
- Sistema: Este campo identifica el sistema al que pertenece el equipo.
- Función: Este campo describe la función del equipo.

	FICHA DE REGISTRO
TAG	
EQUIPO	
SISTEMA	
FUNCION	

	FICHA DE REGISTRO
TAG	P-10014 C
EQUIPO	10005: TRAMPA DE LLUVIA DE LOGISTICA
SISTEMA	Achique
FUNCION	Extraccion de agua de lluvia de gandolas

Fig 14. Formato de registro para identificar los equipos y ejemplo

Fuente: R. Arrieche

Con lo planteado hasta ahora; el desarrollo e implementación del plan de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) para las bombas y motores de PTAR permitirá disminuir las paradas no programadas, aumentar la disponibilidad de los equipos y mejorar la confiabilidad de los subsistemas que lo componen.

Los resultados esperados son los siguientes:

- Menor número de paradas no programadas: Esto se logrará mediante la identificación y eliminación de las causas raíz de las fallas.
- Reducción de actividades correctivas: Esto se logrará mediante la implementación de tareas de mantenimiento preventivo y predictivo.
- Stock de repuestos disponible: Esto permitirá realizar las reparaciones de manera rápida y eficiente.
- Aplicación de tareas basadas en condición: Esto permitirá monitorear el estado de los equipos y realizar el mantenimiento en el momento adecuado.
- Mayor disponibilidad de los equipos: Esto se traducirá en una mayor producción y una disminución de los costos.
- Garantía de la calidad del producto final y rendimiento: Esto se debe a que los equipos estarán en condiciones óptimas de funcionamiento.

Se espera que los resultados obtenidos con este plan de mantenimiento se puedan replicar en otras áreas que constituyen a Cargill de Venezuela, planta Valencia, como, por ejemplo: Caldera, Envasado, Procesos.

Tomando en consideración la evaluación del sistema y proyectar su mejora se plantea evaluar los indicadores MTBF y MTTR en plan elaborado; para ello es necesario calcular el tiempo de parada de los equipos, a continuación, se presenta el cuadro xxx que especifica cuántodura cada tarea para el desarrollo de las actividades de mantenimiento

Cuadro 19 - 20: Evaluación de Propuesta

ACTUAL		
T ciclo (hs/año)	Nº de paradas	Hrs de paro
6570.00	225.60	1255.40
MTBF	MTTR	Disponibilidad
23.56	5.56	81%

PROPUESTA		
T ciclo (hs/año)	Nº de paradas	Hrs de paro
6570	28	67.5
MTBF	MTTR	Disponibilidad
232.23	2.410714286	99%

Fuente: R. Arrieche (2023)

FASE IV: Evaluación de la factibilidad operativa, técnica, y económica del plan de mantenimiento propuesto.

Factibilidad operativa

El plan de mantenimiento propuesto para Cargill es factible desde el punto de vista operativo. La empresa cuenta con el personal necesario para llevar a cabo las actividades propuestas y desarrollarlas eficazmente además parte de los procedimientos descritos, incluidos técnicos mecánicos y electricistas, instrumentistas y operarios. Están aptos y disponen de todas las herramientas necesarias para el cumplimiento del plan

Factibilidad técnica

La factibilidad técnica se refiere a la disponibilidad de los recursos técnicos necesarios para llevar a cabo un proyecto. El plan de mantenimiento propuesto para Cargill, los recursos técnicos necesarios incluyen:

- Equipos y herramientas de mantenimiento
- Suministros y repuestos
- Información y documentación técnica

El plan de mantenimiento propuesto requiere la implementación de nuevas técnicas y tecnologías de mantenimiento, como el mantenimiento predictivo y el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). Estas técnicas y tecnologías requieren equipos y herramientas especializados ya descrito en la fase anterior, así como capacitación del personal

Cargill cuenta con la mayoría de los recursos técnicos necesarios para implementar el plan de mantenimiento propuesto. La empresa tiene una amplia experiencia en mantenimiento, y cuenta con un equipo de técnicos calificados. Además, Cargill tiene acceso a proveedores de equipos y servicios de mantenimiento especializados.

El plan de mantenimiento propuesto requiere la adquisición de algunos repuestos, equipos y herramientas especializados que se describieron, así como la capacitación del personal en las nuevas técnicas y tecnologías de mantenimiento.

Factibilidad ambiental

En el aspecto ambiental el plan de mantenimiento permite aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, reduciendo sus fallas, lo que reduce las posibilidades de que las fallas de los equipos perjudiquen al medio ambiente. Cabe agregar, que las tareas de mantenimiento propuestas no poseen un impacto medioambiental significativo que pueda suponer un problema o la violación de normas medioambientales por parte de la empresa, salvo el correcto uso de los lubricantes que se manejan para el mantenimiento de los motores y bombas.

Cuadro 21: Factibilidad ambiental

PROPUESTA	ESTRATEGIAS	IMPACTO EN EL AMBIENTE	VALORACION	
			POSITIVA	NEGATIVA
Plan estratégico	1	Reducción el nivel de ruido en dB.	X	
Plan estratégico	2	Reducción de turbidez permitida para el agua tratada	X	
Plan estratégico	3	Gestión de recursos desechados		X
Plan estratégico	4	Mejorar el consumo de recursos energéticos	X	

Fuente: R. Arrieche (2023).

Σ Valorización positiva: 3 puntos

Σ Valorización negativa: 1 puntos.

$$VIA = 3$$

Por consiguiente, tomando en cuenta la regla de decisión obtenida, implementar las propuestas de mejoras en el área de producción de la empresa caso en estudio, es factible ambientalmente.

Factibilidad económica

Se hace referencia a los gastos que conlleva el plan de mantenimiento, tomando en consideración MD, MOD, GIF. El estudio económico permite desarrollar la factibilidad técnica.

Cuadro 22: Costes e ingresos de implementación de plan

COSTOS DEL PLAN	
Insumos y stocks	\$ 2.273,90
Hrs/Hombre	\$ 1.400,00
Gastos indirectos	\$ 500,00
	\$ 4.173,90
COSTOS ACTUALES	
Insumos correctivos	\$ 3.750,00
Hrs/Hombre	\$ 1568,75
Gastos de contrata	\$ 5.400,00
	\$ 10.718,75
INGRESOS ESPERADOS	
	\$ 6.544,85

Fuente: R. Arrieche.

- Relación beneficio / costo:

Es una métrica financiera utilizada para evaluar la viabilidad económica de un proyecto. De igual manera, la relación beneficio costo está representada por la división beneficios entre costos (B/C), a continuación, se explica la viabilidad de la propuesta dependiendo del resultado obtenido en la división:

- Si el resultado es mayor a 1 la propuesta es viable.
- Si es igual a 1 es indiferente la ejecución de la propuesta.
- Si el resultado es menor a 1 la propuesta es inviable

Cuadro 23: Beneficio/costo

B/C	
BENEFICIOS	\$ 6.544,85
COSTOS	\$ 4.173,90
	\$ 1,57

Fuente: R. Arrieche.

Los beneficios del proyecto se calculan en función de los ahorros en costos de mantenimiento. Los costos de mantenimiento se pueden dividir en dos categorías: los costos de mantenimiento preventivo y los costos de mantenimiento correctivo. Los costos de mantenimiento preventivo son los costos de realizar tareas de mantenimiento de rutina para evitar fallas. Los costos de mantenimiento correctivo son los costos de reparar o reemplazar equipos que han fallado.

El plan de mantenimiento propuesto se espera que reduzca los costos de mantenimiento tanto preventivo como correctivo. Sin embargo, no se espera que elimine completamente las fallas. Por lo tanto, los beneficios del plan de mantenimiento se calculan en función de la cantidad de costos de mantenimiento que se espera que se puedan evitar.

En el caso del plan de mantenimiento propuesto, los beneficios se estiman en 6548.85 USD. Los costos del plan se estiman en 4173.90 USD. Por lo tanto, la B/C es de 1.57 indica que el plan de mantenimiento propuesto es viable. Sin embargo, la B/C podría ser aún mayor si se pudieran reducir aún más los costos de mantenimiento.

- **El tiempo de retorno de la inversión (TRI)**

TRI es una métrica financiera utilizada para evaluar la rentabilidad de un proyecto. En el plan de mantenimiento propuesto, se calcula dividiendo la inversión inicial del proyecto por los beneficios netos del proyecto.

Los beneficios netos del proyecto se calculan restando los costos del proyecto a los beneficios totales del proyecto. Los beneficios totales del proyecto se calculan en función de los ahorros en costos de mantenimiento.

En el caso del plan de mantenimiento propuesto, los beneficios totales se estiman en 6548.85\$. Los costos del plan se estiman en 4173.90\$. Por lo tanto, los beneficios netos se estiman en 2374.95\$. La inversión inicial del proyecto se estima en 4174\$. Por lo tanto, el TRI es de $4174 / 2375 = 0.64$ años.

El plan de mantenimiento propuesto es viable, ya que el tiempo de retorno de la inversión es de 7,69 meses que equivale a 0,64 años. Esto significa que la inversión inicial se recuperará en aproximadamente 7 meses y 21 días.

CONCLUSIONES

El diagnóstico de la situación actual dentro del proceso de tratamiento de aguas residuales de Cargill permitió identificar que los métodos, los repuestos y la gestión del tipo de mantenimiento aplicada a las bombas son uno de los mayores problemas dentro de la gestión del mantenimiento, donde el exceso de mantenimiento correctivo está ocasionando una considerable cantidad de paradas no programadas, así como la falta de insumos para realizar.

El número de paradas no programadas, la disponibilidad de las bombas y las recomendaciones del personal de la planta permitieron direccionar el análisis hacia la identificación de los principales fallos presentes en los diferentes subsistemas, permitió determinar como la eficiencia del área contaba con la menor disponibilidad y mayor cantidad de paradas no programadas durante los últimos meses. El análisis de criticidad permitió identificar los equipos críticos, siendo las más críticas P-10014 B, P-10011, P-10001 C, P-10002 C, estos ocasionaban la mayoría de paradas no programadas y la mayor cantidad de tiempos de paro de PTAR.

El análisis de modos y efectos de falla (AMEF) permitió identificar los modos y de falla, sus posibles causas y efectos de los equipos en estudio para luego categorizar cada uno de estos modos de falla y visualizar los que tenían un mayor número de prioridad de riesgo (NPR) los cuales son los que tienen que tratar de evitarse durante la implementación de la propuesta. La implementación de la propuesta ofrecerá un mayor control sobre el sistema de bombeo de servicios industriales en Cargill, reduciendo la ocurrencia de las fallas en estos equipos, evitando paradas no programadas, evitando retrasos en la producción, mejorando el ambiente laboral y aumentando la disponibilidad del área.

El plan de mantenimiento no asegura eliminación del 100% de las paradas no programadas, sin embargo, permite reducirlas de manera considerable y alargar la vida útil de los equipos en cuestión, es por ello que los gastos deben verse como una inversión a medio-largo plazo. La propuesta es económicamente viable y el período de tiempo de retorno de la inversión es menor a un año, en el aspecto operativo se cuenta con el personal de trabajo necesario para la implementación del plan, en el aspecto técnico se cumple con todo los parámetros y requisitos necesarios, mientras que por la parte ambiental el impacto es menor que el beneficio esperado del proyecto.

Por último y menos importante, La realización de las actividades propuestas enfatiza más al mantenimiento preventivo y predictivo, el seguimiento y evaluación del sistema es lo que garantizara el éxito del mismo, la planificación aborda solo el área de PTAR, pero puede ser replicado e implementado en cualquier otra área de la empresa que requiera mantenimiento más enfocado a envasado proceso o Mtto Eléctrico.

RECOMENDACIONES

Para garantizar el éxito de la implementación del plan de mantenimiento, se recomienda lo siguiente:

- Registrar cada una de las fallas de los equipos de manera digital para facilitar el desarrollo de futuros planes de mantenimiento de los mismos u otros equipos y poder abarcar un mayor número de fallos.
- Capacitar al personal de mantenimiento en las nuevas técnicas y tecnologías de mantenimiento: Esto permitirá que el personal pueda realizar las actividades de mantenimiento de manera adecuada.
- Implementar un sistema de seguimiento y control del plan de mantenimiento: Esto permitirá monitorear el progreso del plan y realizar los ajustes necesarios.
- Realizar un monitoreo periódico del plan de mantenimiento para identificar y corregir posibles desviaciones: Esto permitirá garantizar que el plan se esté implementando de manera efectiva. Puede hacerse mediante auditorias de la mano de Departamento de Calidad
- Reactivar los tanques inactivos DAF para ser más eficiente en el tratamiento de aguas y tener un stock auxiliar por si falla alguna bomba critica.
- Estandarizar el proceso de preparación de aglomerantes y químicos usados en el proceso de tratamiento de agua en la planta.
- Implementar el plan de mantenimiento propuesto a las bombas de servicios industriales y hacer un seguimiento de a la cantidad de paradas no programadas y tiempos de paro para poder comparar frecuentemente con la situación que se presentaba antes de implementar el plan.

Se espera que la implementación del plan de mantenimiento propuesto contribuya a mejorar la confiabilidad y disponibilidad del sistema de bombeo de servicios industriales de la PTAR, lo que se traducirá en un aumento de la eficiencia en la gestión de mantenimiento de Cargill.

REFERENCIAS

- Altmann, D. (2009). Confiabilidad de sistemas industriales. Cengage Learning.
- Arias, F. G. (2012). El proyecto de investigación: introducción a la metodología científica. Editorial Episteme.
- Barrada Beltran, F. (2015). Manual de mantenimiento industrial: Metodología de diagnóstico de máquinas y equipos. Lulu.com.
- Bazovsky, I. (sin fecha). Confiabilidad en mantenimiento industrial.
- García-Díaz, V. (2019). Mantenimiento industrial: conceptos, métodos y aplicaciones. Marcombo.
- Duffuaa, S. O., Raouf, A., & Al-Abduljader, K. (2007). Maintenance policies and procedures. In Handbook of Maintenance Management and Engineering (pp. 109-129). Springer.
- Gómez, J. (2021). Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad Para la Empresa Molinos Carabobo S.A. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Industrial, Universidad José Antonio Páez.
- Mobley, R. K. (2014). Maintenance Engineering Handbook. McGraw-Hill Education
- Mora, E. (2009). Mantenimiento industrial. Marcombo.
- Morales, E. (2008). Mantenimiento industrial. Universidad de La Laguna.
- Negrinho, P. (2021). Plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para la maquinaria de la empresa Concretos los Llanos, C.A. Universidad José Antonio Paéz.
- Norma COVENIN 3049-43. Mantenimiento industrial.
- Nowlan, S., & Heap, H. F. (1997). Reliability-Centered Maintenance. Industrial Press Inc.
- Lindley, R. (2002). Mantenimiento industrial: técnica de mantenimiento preventivo y predictivo. Marcombo.
- Salcedo, J. (2017). Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para la llenadora rotativa de la línea de producción de salsa a base de tomate y ketchup de la empresa Alimentos Garmi C.A. UCV.

- .Valera, V. (2018) Gestión de mantenimiento centrado en confiabilidad para una máquina papelera. Universidad de Carabobo.
- Bermúdez, J. A., & Torres, M. A. (2019). Mantenimiento predictivo: una herramienta para la gestión de la confiabilidad. *Revista Ingeniería Industrial*, 30(1), 1-12.
- Cabrera, J. A., & García, M. (2016). Planificación del mantenimiento industrial: un enfoque basado en la confiabilidad. Editorial Díaz de Santos.
- Cepeda, J., & López, C. (2017). Mantenimiento industrial: gestión y aplicación. Ediciones Díaz de Santos.
- Gómez, J. L., & Sánchez, J. M. (2012). Mantenimiento industrial: técnicas y estrategias. Ediciones Díaz de Santos.
- López, J. A., & García, R. (2018). Mantenimiento industrial: gestión y mejora. Editorial Netbiblo.

ANEXOS



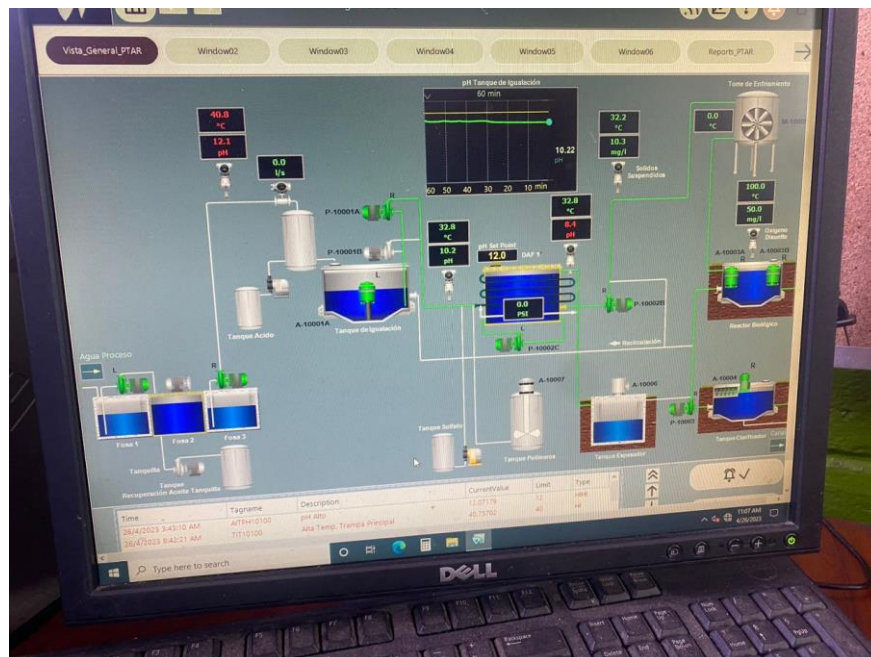
Anexo 01: Tanque DAF de PTAR.



**Anexo 02: Fachada Principal de
PTAR**



Anexo 03: Reactor Biológico de PTAR



Anexo 04: Diagrama de Flujo de PTAR