

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN PARA LA GESTIÓN DEL
MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) DE LAS PLANTAS
DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP) Y DE AGUAS RESIDUALES
(PTAR) DE LA EMPRESA FRIGORÍFICO VIJAGUAL S.A.

JONATHAN FERNEY ROJAS TRUJILLO
MARLON YESID SÁNCHEZ AVELLANEDA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2017

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN PARA LA GESTIÓN DEL
MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) DE LAS PLANTAS
DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP) Y DE AGUAS RESIDUALES
(PTAR) DE LA EMPRESA FRIGORÍFICO VIJAGUAL S.A.

JONATHAN FERNEY ROJAS TRUJILLO
MARLON YESID SÁNCHEZ AVELLANEDA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de
Ingeniero Mecánico

Director
PEDRO JOSÉ DÍAZ GUERRERO
M. Sc. Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2017

DEDICATORIA

En primera instancia a DIOS por guiarme, darme fuerza y permitirme culminar esta etapa tan importante en mi vida.

A mis padres Mariluz y Nestor, mi agradecimiento más profundo por su apoyo incondicional, amor, comprensión y paciencia.

A Jenny Pérez, por su amor, apoyo, consejos y motivación para seguir adelante a pesar de las adversidades.

A mi hijo Juan José, este logro es para ti.

A mis hermanos, familiares y amigos gracias, Dios los bendiga.

A mi padre Luis Jesús Sánchez Angarita, gracias por guiarme y protegerme desde el cielo.

Marlon Yesid Sánchez Avellaneda

A Dios, mis padres y mi novia por el constante apoyo y confianza en éste recorrido.

A mi amada profesión, por los resultados que gratamente obtuve a lo largo del camino, por todo lo que me ha enseñado de mí mismo y de la vida, y por el futuro que me aguarda

Jonathan Ferney Rojas Trujillo

AGRADECIMIENTOS

A nuestro director, Profesor Pedro José Díaz Guerrero, por su constante apoyo y determinada paciencia en cada uno de los pasos que hemos tomado en la ejecución de éste proyecto.

A la empresa Frigorífico Vijagual S.A. por la oportunidad de afianzar nuestros conocimientos a través de la puesta en marcha de éste proyecto, y en especial al ingeniero Jesús Pimiento Mantilla, Jefe del Departamento de Mantenimiento y la ingeniera Laura Damián, Coordinadora de Gestión Ambiental, por sus valiosos aportes; además, a los diferentes técnicos y operadores por su acompañamiento y ayuda en la recolección de información para la ejecución e implementación de éste proyecto.

Por último y no menos importante, a la Universidad Industrial de Santander, casa de estudios que por mucho tiempo ha sido como un segundo hogar, y a los diferentes e incontables docentes que han hecho parte de nuestra formación académica y quienes han aportado sus conocimientos y vivencias para nuestro crecimiento profesional; estaremos por siempre agradecidos.

Los Autores

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	22
1. RECONOCIMIENTO DE LA ORGANIZACIÓN	24
1.1 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA	24
1.1.1 Misión.....	25
1.1.2 Visión	25
1.1.3 Ubicación.	25
1.1.4 Políticas de Gestión Integra	25
1.1.4.1 Política de Calidad	26
1.1.4.2 Política de Seguridad y Salud en el Trabajo	26
1.1.4.3 Política Ambiental	27
1.1.5 Estructura organizacional.....	27
1.1.6. Estructura organizacional del Departamento de Mantenimiento.....	27
1.2 PROCESOS DEL FRIGORÍFICO VIJAGUAL S.A.	29
1.2.1 Proceso de beneficio animal en planta.....	29
1.2.2 Proceso de potabilización de agua	31
1.2.3 Proceso de tratamiento de aguas residuales	36
2. GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	42
2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	42
2.2 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	44
2.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO	46
2.3.1 Objetivo general.....	46
2.3.2 Objetivos específicos	46

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	48
3.1 DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO	48
3.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO	49
3.2.1 Mantenimiento correctivo	49
3.2.2 Mantenimiento preventivo	49
3.2.3 Mantenimiento predictivo	50
3.2.4 Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)	50
3.3 ANÁLISIS DE CRITICIDAD	51
3.3.1 Metodología	51
3.3.2 Información requerida	55
3.3.3 Análisis de criticidad por el método de factores ponderados	55
3.3.4 Matriz de criticidad	56
3.4 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD - RCM	57
3.4.1 Objetivos del RCM y la gestión de confiabilidad	58
3.4.2 Siete preguntas básicas del RCM	59
3.4.3 Análisis de modos y efectos de falla AMEF	59
3.4.3.1 Funciones y sus estándares de funcionamiento	60
3.4.3.2 Fallas funcionales	60
3.4.3.3 Modos de falla (Causas de falla)	60
3.4.3.4 Efectos de las fallas	61
3.4.3.5 Consecuencias de las fallas	61
3.4.4 Diagrama de decisión RCM	63
3.4.5 Hoja de decisión RCM	63
3.4.6 Tareas de mantenimiento	66
3.4.6.1 Tareas a condición	67
3.4.6.2 Tareas de reacondicionamiento cíclico	67
3.4.6.3 Tarea de sustitución cíclica	67
3.4.6.4 Acciones “a falta de”	67

4. IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS Y ANÁLISIS DE CRITICIDAD	68
4.1 INVENTARIO	68
4.2 CODIFICACIÓN EQUIPOS.....	69
4.2.1 Primer nivel de codificación	70
4.2.2 Segundo nivel de codificación.....	70
4.2.3 Tercer nivel de codificación.....	71
4.3 ETIQUETA	74
4.4 ANÁLISIS DE CRITICIDAD	75
4.4.1 Criterios de evaluación.....	75
4.4.2 Jerarquización de la criticidad.....	77
4.4.3 Resultados del análisis de criticidad	79
4.5 ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	80
4.5.1 Estrategia para los equipos NO CRÍTICOS	80
4.5.2 Estrategia para los equipos MEDIANAMENTE CRÍTICOS.....	81
4.5.3 Estrategia para los equipos CRÍTICOS.....	81
5. ACTUALIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO	82
5.1 MANTENIMIENTO ACTUAL EN LAS PLANTAS PTAP Y PTAR.....	82
5.1.1 Fichas técnicas	83
5.1.2 Fichas técnicas y el Código QR.....	85
5.1.3 Hoja de vida de los equipos	87
5.1.4 Cronograma de lubricación de equipos.....	88
5.2 PLAN MAESTRO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	89
5.2.1 Planeación del mantenimiento preventivo.....	89
5.2.1.1 Recurso humano.....	89
5.2.1.2 Recursos materiales e insumos	90
5.2.1.3 Planeación de las actividades de mantenimiento	91
5.2.2 Plan de mantenimiento preventivo	91
5.2.3 Sábana de mantenimiento	92
5.3 ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO PARA EQUIPOS NO CRÍTICOS	93

5.3.1 Formatos de inspección equipos NO críticos.....	93
6. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS.....	95
6.1 CONTEXTO OPERACIONAL DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS.....	96
6.1.1 Decantador centrífugo.....	96
6.1.1.1 Tambor de la centrífuga o <i>Bowl</i>	98
6.1.1.2 Tornillo transportador de la centrifuga.....	98
6.1.1.3 Transmisión de potencia.....	100
6.1.1.4 Bomba de auto-lavado y bomba de polímero.....	100
6.1.1.5 Sistema de control.....	101
6.1.2 Filtro de tambor rotacional.....	102
6.1.2.1 Filtro y tanque de alimentación.....	103
6.1.2.2 Transmisión de potencia.....	104
6.1.3 Bomba Malmedi.....	104
6.2 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS	106
6.3 HOJAS DE DECISIÓN RCM DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS.....	108
7. IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO.....	110
7.1 SOFTWARE DE MANTENIMIENTO.....	110
7.2 SOFTWARE GÉMINUS.....	110
7.2.1 Generalidades.....	111
7.2.2 Módulo de gestión de mantenimiento de equipos y maquinaria.....	111
7.3 ALIMENTACIÓN DEL SOFTWARE GÉMINUS.....	112
7.3.1 Ingreso al sistema.....	112
7.3.2 Interfaz principal del software.....	113
7.3.3 Módulo de mantenimiento.....	114
7.3.3.1 Equipos.....	115
7.3.3.2 Fichas técnicas.....	117

7.3.3.3 Programación de órdenes de trabajo	120
7.3.3.4 Informes	122
7.4 CAPACITACIÓN EN EL PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO	123
8. ANÁLISIS FINANCIERO DEL PROYECTO	125
8.1 VIABILIDAD DE CONTINUACIÓN OPERATIVA DE LAS PLANTAS PTAP Y PTAR.	125
8.2 EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN PROPUESTO.	127
8.2.1 Costos de mantenimiento del año 2016.....	128
8.2.2 Costo de mantenimiento del año 2017.....	128
8.2.3 Análisis de costos	129
8.2.4 Análisis de la inversión.....	129
9. CONCLUSIONES	133
10. RECOMENDACIONES	136
BIBLIOGRAFÍA.....	137
ANEXOS.....CONSULTAR CD	

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Estructura organizacional del Frigorífico Vijagual S.A.	28
Figura 2. Estructura organizacional del Departamento de Mantenimiento.....	28
Figura 3. Proceso de potabilización de la PTAP.	32
Figura 4. Canaleta Parshall.....	33
Figura 5. Área de sedimentación de lodos de la PTAP.	34
Figura 6. Bomba de filtrado y filtro de arena de la PTAP.	34
Figura 7. Sistema de cloración de la PTAP.....	35
Figura 8. Bombas de distribución de agua potable.	36
Figura 9. Proceso de tratamiento de aguas residuales de la PTAR.....	37
Figura 10. Bombas de impulsión de lodos a los tanques de igualación.	38
Figura 11. Tanque de igualación de la PTAR.	39
Figura 12. Filtro de tambor rotacional y tornillo de transporte de lodos amarillos. .	39
Figura 13. Planta de tratamiento físico-químico de aguas residuales.....	40
Figura 14. Tanques de agitación y Decantador Centrífugo de la PTAR.	41
Figura 15. Equipos relevantes de las unidades PTAP y PTAR de la empresa Frigorífico Vijagual S.A.....	44
Figura 16. Aspectos de la confiabilidad operacional.	52
Figura 17. Agrupación típica de instalaciones.....	53
Figura 18. Modelo básico de análisis de criticidad.....	54
Figura 19. Matriz de criticidad básica.....	57
Figura 20. Diagrama de decisión RCM.	64
Figura 21. Estructura de la hoja de decisión RCM.	65
Figura 22. Ejemplo de etiqueta.	74
Figura 23. Distribución de criticidad de la planta PTAP.	79
Figura 24. Distribución de criticidad de la planta PTAR.	80

Figura 25. Etiqueta con su respectivo código QR.	86
Figura 26. Etiquetas de diferentes equipos.	86
Figura 27. Decantador Centrífugo marca ANDRITZ.	96
Figura 28. Esquema del Decantador Centrífugo.	97
Figura 29. Bowl o tambor del decantador centrífugo.	99
Figura 30. Tornillo del decantador centrífugo.	99
Figura 31. Esquema del sistema de transmisión de potencia.	100
Figura 32. Bombas de auto-lavado (izq.) y bomba de polímero (der.) del decantador centrífugo.	101
Figura 33. Sistema de control de los decantadores centrífugos.	101
Figura 34. Esquema del Filtro de Tambor Rotacional.	102
Figura 35. Filtro de tambor rotacional.	103
Figura 36. Montaje del sistema de transmisión de potencia de los filtros de tambor rotacional.	104
Figura 37. Bomba centrífuga Malmedi Líder.	105
Figura 38. Esquema de la bomba Malmedi.	105
Figura 39. Logotipo de la empresa GÉMINUS.	111
Figura 40. Ingreso al software GÉMINUS.	112
Figura 41. Interfaz principal del software GÉMINUS.	113
Figura 42. Interfaz del módulo de mantenimiento del software GÉMINUS.	114
Figura 43. Creación de equipos.	116
Figura 44. Listado de equipos PTAP.	116
Figura 45. Listado de equipos PTAR.	117
Figura 46. Actividades de mantenimiento por clase de equipo.	118
Figura 47. Creación de actividades.	119
Figura 48. Repuestos por actividad.	119
Figura 49. Labores por actividad.	119
Figura 50. Creación de orden de trabajo.	121
Figura 51. Actividades pendientes.	121
Figura 52. Listado de actividades semanales.	122

Figura 53. Documentación entregada al Frigorífico Vijagual S.A..... 124
Figura 54. Capacitación del personal de mantenimiento. 124
Figura 55. Flujo presupuestal durante el periodo evaluado. 129
Figura 56. Flujo de la inversión en el periodo evaluado. 132

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Plantas de procesos del Frigorífico Vijagual S.A.	29
Tabla 2. Esquema del Inventario PTAP.	69
Tabla 3. Primer nivel de codificación.	70
Tabla 4. Segundo nivel de codificación.....	70
Tabla 5. Identificador de ubicación.	71
Tabla 6. Codificación de equipos de la PTAP.	72
Tabla 7. Codificación de equipos de la PTAR.....	73
Tabla 8. Criterio de frecuencia de falla.	75
Tabla 9. Criterio de impacto operacional.....	76
Tabla 10. Criterio de flexibilidad Operacional.....	76
Tabla 11. Criterio de costos de mantenimiento.....	76
Tabla 12. Criterio de impacto a la seguridad humana y al medio ambiente.....	77
Tabla 13. Representación del análisis de criticidad realizado.....	78
Tabla 14. Ficha técnica de equipos.	84
Tabla 15. Formato hoja de vida de los equipos.	87
Tabla 16. Carta de lubricación del Decantador Centrifugo 1.....	88
Tabla 17. Distribución del talento humano del Departamento de Mantenimiento. .	90
Tabla 18. Stock mínimo de repuestos de las plantas PTAP y PTAR.	90
Tabla 19. Plan de Mantenimiento Preventivo para la Bomba de Lodos 1 - PTAR..	92
Tabla 20. Sábana de mantenimiento.	93
Tabla 21. Plan de inspección para la bomba de bañaderas AP-BOC-01.	94
Tabla 22. Listado de equipos críticos.....	95
Tabla 23. Características operativas y constructivas de los Decantadores Centrifugos.	98

Tabla 24. Características operativas y constructivas de los Filtros de Tambor Rotacional.....	103
Tabla 25. Características operativas y constructivas de las Bombas Malmedi. ...	106
Tabla 26. AMEF del Filtro de Tambor Rotacional 1.	107
Tabla 27. Hoja de decisión RCM del Filtro de Tambor Rotacional 1.....	109
Tabla 28. Documentación entregada al Frigorífico Vijagual S.A.	123
Tabla 29. Cantidad de agua tratada en cada planta.	125
Tabla 30. Costos operativos de las plantas PTAP y PTAR.....	126
Tabla 31. Costos de contratar los servicios de la empresa EMSERVIR E.S.P.	126
Tabla 32. Comparativo de los costos del servicio.	127
Tabla 33. Costos de mantenimiento de la PTAP y PTAR para los meses de julio-septiembre de 2016.	128
Tabla 34. Costos de mantenimiento de la PTAP y PTAR para los meses de julio-septiembre de 2017.	128
Tabla 35. Inversión para la implementación del plan de gestión propuesto.....	130
Tabla 36. Cálculos para el análisis de la inversión.	132

LISTA DE ANEXOS

(Ver anexos adjuntos en el CD, el cual puede consultar en la Base de Datos de la Biblioteca de la Universidad Industrial de Santander)

Anexo A. Inventario PTAP.

Anexo B. Inventario PTAR.

Anexo C. Ponderación y evaluación de criticidad de las plantas PTAP y PTAR.

Anexo D. Fichas técnicas de equipos PTAP.

Anexo E. Fichas técnicas de equipos PTAR.

Anexo F. Etiquetas de equipos PTAP.

Anexo G. Etiquetas de equipos PTAR.

Anexo H. Hojas de vida de equipos PTAP.

Anexo I. Hojas de vida de equipos PTAR.

Anexo J. Cronogramas de lubricación.

Anexo K. Stock mínimo de repuestos de la PTAP y PTAR.

Anexo L. Planes de mantenimiento preventivo.

Anexo M. Sábana de mantenimiento.

Anexo N. Planes de inspección de equipos NO críticos.

Anexo O. AMEF de los equipos críticos.

Anexo P. Hojas de decisión RCM.

Anexo Q. Entrega de material del Plan Propuesto.

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN PARA LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP) Y DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) DE LA EMPRESA FRIGORÍFICO VIJAGUAL S.A.¹

AUTORES: JONATHAN FERNEY ROJAS TRUJILLO y MARLON YESID SÁNCHEZ AVELLANEDA.²

PALABRAS CLAVES: MANTENIMIENTO, CRITICIDAD, RCM, AMEF, CODIFICACIÓN, CONFIABILIDAD.

DESCRIPCIÓN O CONTENIDO:

Este documento presenta el diseño e implementación de un plan para la gestión del mantenimiento centrado en confiabilidad para las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) y aguas residuales (PTAR), de la empresa Frigorífico Vijagual S.A.; empresa dedicada al beneficio de animales bovinos, porcinos y bufalinos.

La ejecución del proyecto inicia con la realización del inventario y codificación de cada uno de los equipos que componen las plantas PTAP y PTAR; posteriormente se evalúa el nivel de criticidad de cada uno de los activos, con el fin de jerarquizarlos.

Para los equipos no críticos se implementan rutinas de inspección con el fin de llevar dichos activos a un mantenimiento correctivo programado; para la intervención de los equipos medianamente críticos se implementó un plan de mantenimiento preventivo, estableciendo las actividades respectivas, la frecuencia de aplicación, y los recursos necesarios; por último, para los equipos críticos, se crea una estrategia de mantenimiento basada en confiabilidad (RCM), que inicia con la evaluación del AMEF y posterior elaboración de las hojas de decisión RCM, lo que permite establecer la tareas adecuadas para mitigación de los modos y efectos de falla encontrados.

Por otro lado, para la gestión integral del mantenimiento se crearon los formatos de registro y documentación necesarios, tales como fichas técnicas, hojas de vida, cronogramas de lubricación, entre otros; además de una etiqueta de identificación del equipo orientada a la integración de las tecnologías de la información.

Finalmente, todas las actividades y rutinas de mantenimiento, con sus respectivas especificaciones, se incluyeron en el software Géminus; adicionalmente se realizó un análisis financiero para determinar la viabilidad y el estado costo-beneficio de la implementación del plan propuesto.

¹ Trabajo de grado.

² Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Pedro José Díaz Guerrero, M. Sc. Ingeniero Mecánico.

SUMMARY

TITLE: DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A PLAN FOR THE MANAGEMENT OF THE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) OF THE DRINKING WATER AND WASTEWATER TREATMENT PLANTS OF THE FRIGORÍFICO VIJAGUAL S.A. COMPANY.³

AUTHORS: JONATHAN FERNEY ROJAS TRUJILLO and MARLON YESID SÁNCHEZ AVELLANEDA.⁴

KEYWORDS: MAINTENANCE, CRITICITY, RCM, FMEA, CODIFICATION, RELIABILITY.

DESCRIPTION OR CONTENTS:

This document presents the design and implementation of a plan for the management of the reliability centered maintenance for the drinking water and wastewater treatment plants of the Frigorífico Vijagual S.A. company; business dedicated to the benefit of bovine, porcine and buffalo animals.

The execution of the project starts with the inventory and codification of each of the equipment that make up the drinking water and wastewater plants; then the criticality level of each of the assets is evaluated, in order to rank them.

for non-critical equipment, inspection routines are implemented in order to bring those assets into scheduled corrective maintenance; for the intervention of the moderately critical teams a preventive maintenance plan was implemented, establishing the respective activities, the frequency of application, and the necessary resources; finally, for critical equipment, a reliability based maintenance strategy (RCM) is created, which starts with the evaluation of the FMEA and subsequent elaboration of the RCM decision sheets, which allows to establish the appropriate tasks for mitigation of the modes and fault effects found.

Moreover, for the integral maintenance management, the necessary registration and documentation formats were created, such as technical data sheets, resumes, lubrication schedules, among others; as well as an equipment identification tag aimed at the integration of information technologies.

Finally, all activities and maintenance routines, with their respective specifications, were included in the Géminus software; in addition, a financial analysis was performed to determine the feasibility and cost-benefit status of the implementation of the proposed plan.

³ Work of degree.

⁴ Faculty of Engineering Physics and Mechanics. Mechanical Engineering School. Director: Pedro José Díaz Guerrero, M. Sc. Mechanical Engineer.

INTRODUCCIÓN

De forma general, el mantenimiento se puede entender como las acciones y actividades encaminadas a la minimización de los impactos operacionales, ambientales, legales, y económicos asociados con el uso y aprovechamiento de un grupo o conjunto de máquinas; es así como en las últimas décadas hemos presenciado cambios significativos en las tecnologías y prácticas industriales que han llevado a reformar el percepción del mantenimiento, como algo de poca importancia y sin valor significativo para una empresa; a una concepción de priorización de actividades para garantizar la continuidad corporativa.

Estos cambios no han sido ajenos a la industria colombiana, y en particular a la empresa Frigorífico Vijagual S.A., que ha vislumbrado la necesidad de consolidarse en el mercado regional y nacional, fortaleciendo sus procesos misionales y operativos; de éste modo, se presenta el diseño de un plan de gestión de mantenimiento orientado a mejorar las prácticas empresariales, aportando a la visión corporativa, de ser una empresa pionera en la industria cárnica tanto a nivel nacional como internacional, exportando productos acordes con los más altos estándares de calidad.

Este documento inicia con la presentación de la empresa Frigorífico Vijagual S.A. para entender su perspectiva corporativa; además, se da a conocer las necesidades y objetivos que el presente proyecto abarcará.

Una vez se desarrollada la contextualización del proyecto, se exponen los principios teóricos necesarios para el desarrollo y cumplimiento de cada uno de los objetivos trazados; para posteriormente presentar el inventario, codificación y análisis de criticidad de los equipos con los que cuentan las Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) y Aguas Residuales (PTAR) de la empresa; con el fin de establecer

las acciones más adecuadas de mantenimiento y concretar la estrategia que se aplicará a los equipos que pertenecen a cada uno de los niveles de criticidad producto de la evaluación.

No basta sólo con conocer el estado de criticidad de los equipos; a partir de esto se crean las diferentes rutinas y actividades de mantenimiento de carácter preventivo, que garanticen la continuidad operativa de los sistemas que pertenecen a las plantas PTAP y PTAR; además se conciben los formatos necesarios para asegurar el cumplimiento y estandarización de las actividades de mantenimiento trazadas, a través de una óptima gestión documental.

Producto de la evaluación de criticidad se establecen los equipos que por sus condiciones operativas, funcionales y de impacto para la empresa son de carácter crítico, de modo tal, que se presenta un estudio de análisis de modos y efectos de falla, para posteriormente evaluar y establecer las prácticas más acertadas para asegurar que dichas máquinas continúen operando bajo condiciones normales y le agreguen valor al corporativo.

Como es bien sabido, las nuevas tecnologías de la información, nos llevan al constante cambio en las prácticas documentales, por eso, se muestra la implementación del plan propuesto en la plataforma de gestión administrativa con la que cuenta la empresa.

Para finalizar, se muestra el análisis financiero que sustenta la viabilidad de la implementación de las rutinas, actividades y prácticas propuestas como plan de gestión de mantenimiento; además se dan las conclusiones y recomendaciones que trascienden del proyecto desarrollado.

1. RECONOCIMIENTO DE LA ORGANIZACIÓN

1.1 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

El Frigorífico de Vijagual fue fundado el 28 de noviembre de 1996, como sociedad anónima; inicialmente denominado Central de Beneficio y Frigorífico de Santander Frigosan S.A. inició un proyecto para llevar a cabo servicios de beneficio de bovinos, empezando labores comerciales en el año 1998. Posteriormente cambió de denominación social a Frigorífico Vijagual S.A.

Fue constituida mediante escritura pública número 7694 el 28 de noviembre de 1996, de la notaria tercera del círculo de Bucaramanga, siendo accionistas, productores, ganaderos, comerciantes mayoristas y vendedores de carne.

Durante su trayectoria, se ha visto un gran desarrollo a su infraestructura, con un total de área construida de 94.208 m² ha innovando en tecnología y mano de obra calificada; estos esfuerzos se han visto reflejados en todos sus procesos productivos y administrativos; entre ellos se encuentran:

- Ampliación de las áreas de recibo y estadía de animales en pie con diseños que le garantizan un bienestar al animal, aumentando la producción de bovinos a 500 bovinos/día,
- Ampliación en las áreas de almacenamiento de los diferentes productos terminados, y cuartos de refrigeración altamente garantizados.
- Adquisición de los equipos necesarios para el empaque de productos mediante la técnica de vacío y termo encogido.
- Mano de obra calificada en cada una de sus áreas.

Dentro de los servicios ofrecidos por la empresa Frigorífico Vijagual se encuentran:

- Servicio de sacrificio y procesamiento de ganado mayor y menor
- Servicio de corrales, basculo o pesaje de ganado mayor y menor.
- Producción, conservación y comercialización de toda clase de productos y subproductos de ganado mayor y menor

1.1.1 Misión. El Frigorífico Vijagual S.A. es una empresa dedicada a procesar y transformar productos cárnicos con la más alta tecnología, cumpliendo la normatividad legal y ambiental para satisfacción de clientes y consumidores nacionales e internacionales. Actuando con eficiencia operacional y promoviendo el crecimiento integral de nuestros colaboradores y de los accionistas.

1.1.2 Visión. Ser el líder en el proceso de beneficio y desposte de bovinos, bufalinos y porcinos a nivel nacional e internacional para el 2021; siendo el proveedor preferido en la prestación de servicios para la transformación y elaboración de productos cárnicos en todas sus presentaciones.

1.1.3 Ubicación. El Frigorífico Vijagual S.A. se encuentra localizado en el Km 8 sobre la vía que conduce de Bucaramanga hacia Rionegro en el departamento de Santander; con un total de área construida de 94.208 m².

1.1.4 Políticas de Gestión Integral. Para el cumplimiento de sus procesos misionales y productivos, el Frigorífico Vijagual S.A. establece lineamientos precisos, los cuales se describen a continuación.

1.1.4.1 Política de Calidad. La empresa se compromete a garantizar la inocuidad de sus productos y la calidad de sus servicios, convirtiéndose en la planta preferida por los empresarios del sector cárnico. Cumpliendo con los requisitos del cliente, la norma ISO 9001 del 2008, el sistema HACCP, los lineamientos establecidos por la organización y los requerimientos Nacionales e Internacionales.

Realizando sus operaciones de manera eficiente y eficaz, que le permita tener la mejor rentabilidad del mercado y una capacidad de respuesta efectiva, logrando la satisfacción de los clientes a través de la evaluación constante del cumplimiento de sus objetivos y metas. Mejorando continuamente nuestros procesos con tecnología, recurso humano competente e infraestructura adecuada.

1.1.4.2 Política de Seguridad y Salud en el Trabajo. Para el desarrollo de sus actividades de beneficio, desposte y transformación de productos cárnicos se compromete con la implementación, ejecución y el mantenimiento del sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, identificando los peligros; evaluando, valorando y determinando los controles de los riesgos asociados a sus procesos y actividades, garantizando el cumplimiento de todos los requerimientos legales aplicables a todos sus trabajadores, contratistas y visitantes con el fin de prevenir accidentes de trabajo y enfermedades.

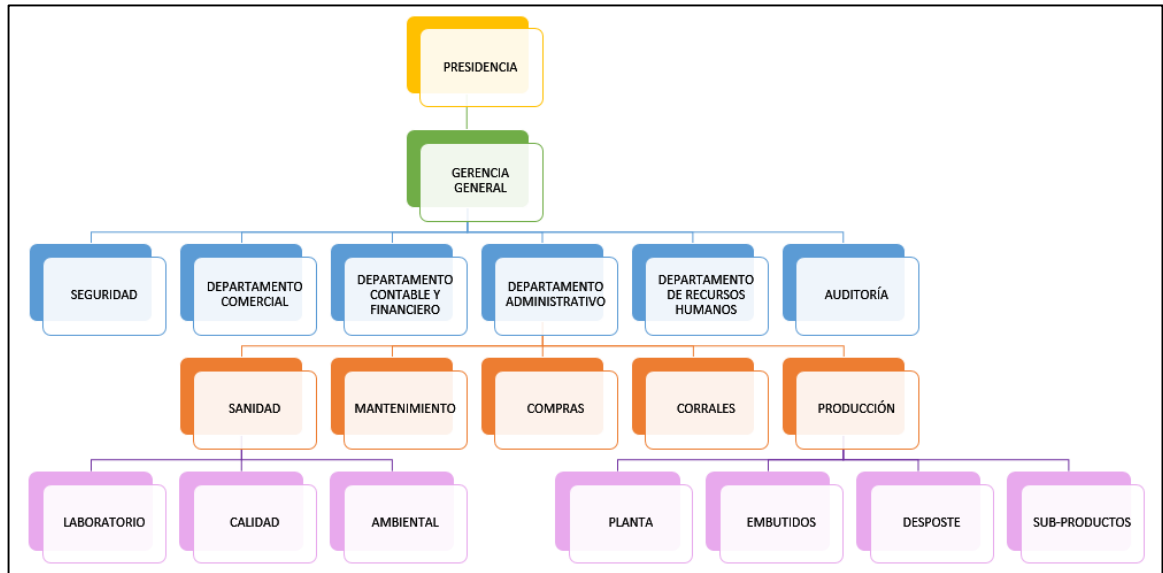
1.1.4.3 Política Ambiental. La empresa se compromete a proteger y conservar los recursos naturales, presentes en cada una de las actividades productivas; en el cumplimiento de la normatividad legal ambiental aplicable a nuestra organización, a través de acciones de mejoramiento continuo en todos los niveles administrativos y procesos operativos, con la implementación buenas prácticas ambientales que disminuyan los riesgos de contaminación, capacitando a sus colaboradores con información actualizada de los documentos que son parte fundamental en la gestión ambiental.

Se implementarán alternativas respetuosas con los recursos naturales, cuidando los usos racionales en cada uno de los procesos y favoreciendo las condiciones de trabajo de los colaboradores y de la comunidad aledaña; minimizando los impactos que pueden llegar a alterar al medio ambiente y posicionando la organización en el mercado. Esta política también se aplicara a todos los contratistas y subcontratistas, por lo cual deberán estar comprometidos con la implementación al interior de la organización.

1.1.5 Estructura organizacional. La figura 1 muestra el mapa general de la distribución y organización de los directivos y colaboradores de la empresa.

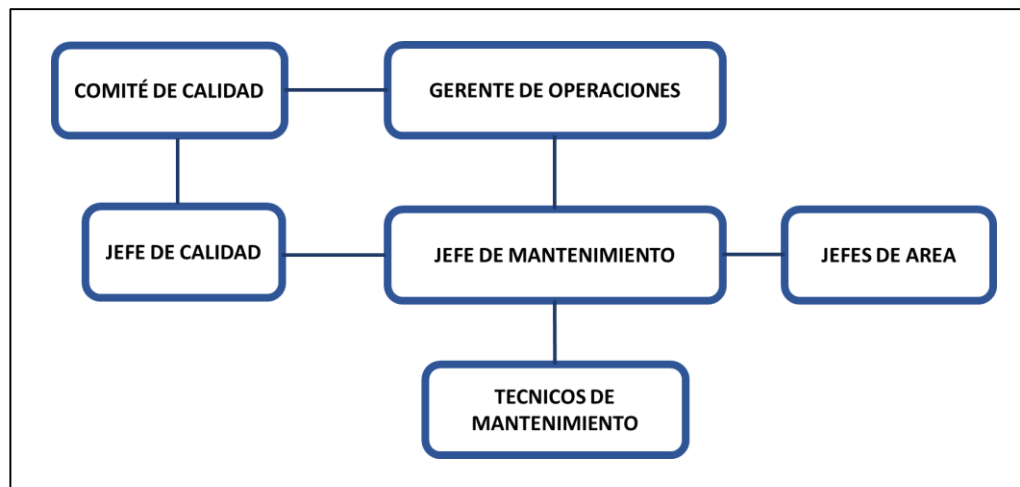
1.1.6. Estructura organizacional del Departamento de Mantenimiento. La figura 2 muestra el esquema y organización de las personas vinculadas con la gestión del mantenimiento de la empresa.

Figura 1. Estructura organizacional del Frigorífico Vijagual S.A.



Fuente: FRIGORÍFICO VIJAGUAL S.A. Sistema de gestión de la calidad. Bucaramanga: La Compañía, 2015.

Figura 2. Estructura organizacional del Departamento de Mantenimiento.



Fuente: FRIGORÍFICO VIJAGUAL S.A. Sistema de gestión de la calidad. Bucaramanga: La Compañía, 2015.

1.2 PROCESOS DEL FRIGORÍFICO VIJAGUAL S.A.

El Frigorífico Vijagual S.A es una empresa que aunque se dedicada a procesar y transformar productos cárnicos, también establece un conjunto de procesos, que se desarrollan transversalmente para garantizar la ejecución de las actividades productivas y operacionales, tales procesos se llevan a cabo en diferentes plantas o secciones de la empresa, tal como se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Plantas de procesos del Frigorífico Vijagual S.A.

PROCESOS FRIGORIFICO VIJAGUAL S.A
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAR)
PLANTA DE BENEFICIO ANIMAL
DESPOSTE
DERIVADOS
PLANTA RENDERING
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)

1.2.1 Proceso de beneficio animal en planta. Este proceso es considerado el más importante en la empresa, pues es el proceso generador de valor; a continuación se presentan las actividades que se llevan a cabo para garantizar su desarrollo.

Ayuno y reposo: inicia con la llegada del animal a corrales, donde deberá permanecer no menos de seis horas en observación y control; además, se realiza la inspección ante-mortem del animal, la cual por reglamentación debe practicarse a todo animal que vaya a ser sometido al beneficio.

Lavado de la res: se realiza en los corrales de espera, con el uso de una ducha a presión para evitar cualquier tipo de contaminación. Esto favorece el proceso, pues genera una mejor sangría y tranquiliza al animal; posterior a esto, el animal es conducido hacia la planta de beneficio donde se continuará con el proceso.

Insensibilización y aturdimiento: el sacrificio se realiza como tal mediante el método de pistola de perno cautivo. El dispositivo dispara un perno que perfora la piel y el hueso frontal del animal, sin lesionar la masa cerebral. Con este método el animal no sufre y permite que se dé una mejor sangría.

Sangría: una vez aturdido el animal se procede a realizar un desangrado lo más completo posible en un lapso de 3 a 5 minutos. El animal se eleva para el degüello, y se introduce una cánula a través de la cual se drena la sangre.

Desollado: este corresponde al conjunto de operaciones que se efectúan en rieles aéreos y en forma seriada. Comienza con el descornado, desollado de la parte frontal de la cabeza y patas eliminando luego la piel de los muslos, nalgas, vientre, verija, costillar y partes genitales. Luego se realiza una apertura a lo largo de la línea ventral para el degüello del tórax, brazo, antebrazo, pecho, espalda y paleta.

Evisceración: luego de desollado se procede a abrir el pecho y el resto de la cavidad abdominal para proceder a la extracción de las vísceras pélvicas y posterior separación de vísceras blancas y vísceras rojas.

División y lavado: la res es dividida a lo largo de la cavidad torácica (canal), las que luego son inspeccionadas por un médico veterinario y lavadas a presión con agua potable.

1.2.2 Proceso de potabilización de agua. Éste se lleva a cabo en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) de la empresa.

La importancia en la inocuidad de los procesos de beneficio animal se acompaña imprescindiblemente de agua, donde el consumo por bovino beneficiado data de un promedio mensual aproximado de 2.04 m³/bovino y un consumo de agua potable total aproximado de 21000 m³ por mes.

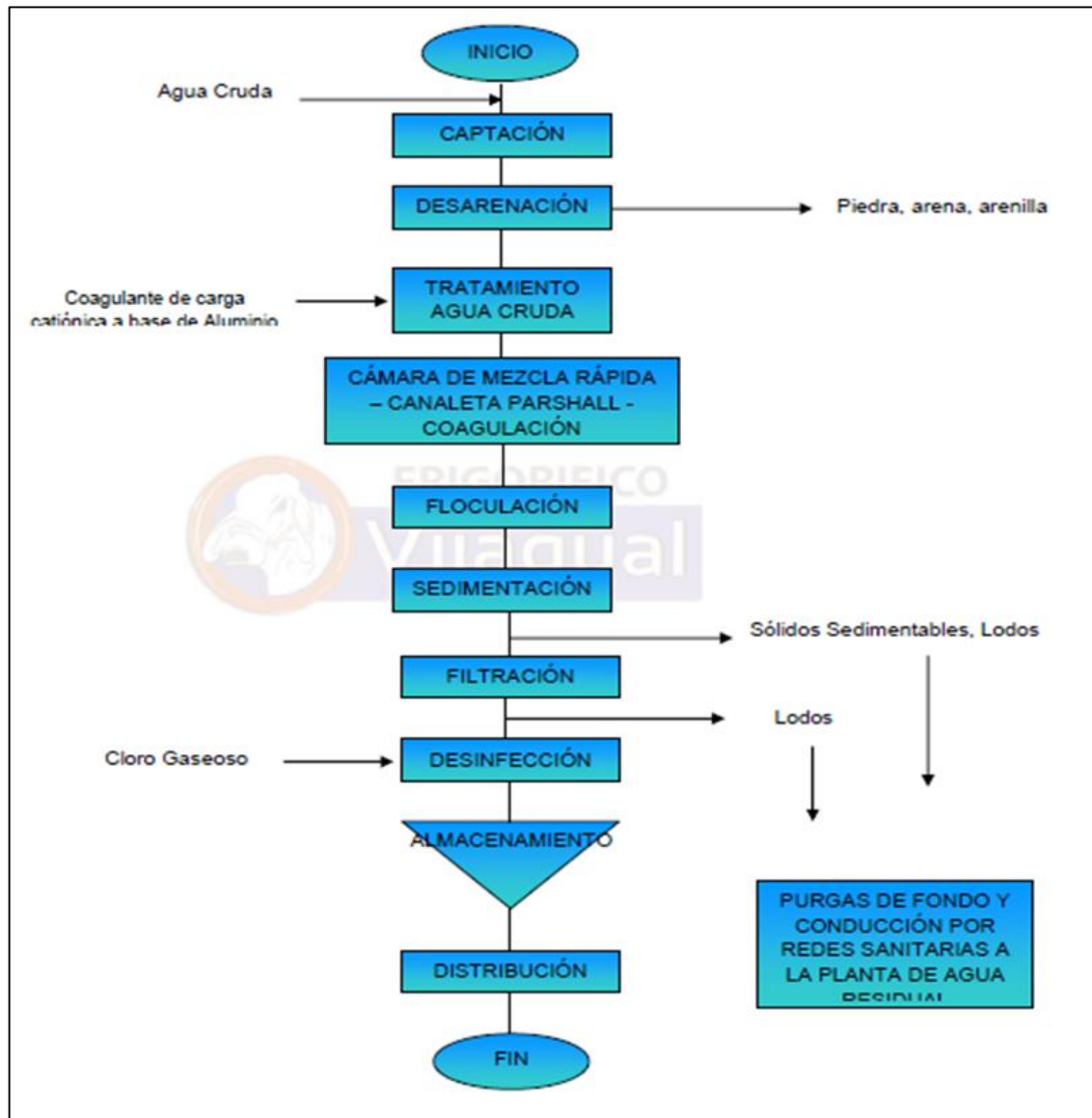
Debido a la ubicación geográfica de la empresa Frigorífico Vijagual S.A., no se cuenta con un suministro de agua potable proveniente del acueducto metropolitano; por tanto, la empresa cuenta con su propia planta de tratamiento de agua potable PTAP, la cual realiza un proceso de potabilización como se muestra en la figura 3, y el del cual se describen sus actividades a continuación.

Captación: se toma agua cruda proveniente de la quebrada El Aburrado, donde inicia el proceso de potabilización.

Des-arenación: este proceso consiste en extraer del agua cruda la piedra, arena, arenilla y otros residuos de gran tamaño como hojas, ramas, entre otros, que contenga el agua tomada.

Tratamiento agua cruda: posterior a la des-arenación se procede a mezclar coagulante de carga catódica a base de aluminio; a éste proceso se le conoce como coagulación, y permite incrementar la tendencia de las partículas de agregarse unas a otras y así formar granos de mayor tamaño, con el fin precipitarlos rápidamente.

Figura 3. Proceso de potabilización de la PTAP.



Fuente: FRIGORÍFICO VIJAGUAL S.A. Sistema de gestión ambiental. Bucaramanga: La Compañía, 2015.

Cámara de mezcla rápida: se le denomina a las condiciones de intensidad de agitación y tiempo de retención que debe reunir la masa de agua en el momento en que se dosifica el coagulante, esta mezcla se realiza por medio de la canaleta Parshall, la cual se muestra en la figura 4.

Figura 4. Canaleta Parshall.



Floculación: proceso químico que permite el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con el fin de aumentar el tamaño y el peso necesarios para sedimentar con facilidad.

Sedimentación: es un proceso físico de tratamiento de aguas, usado para asentar los sólidos suspendidos en el agua, bajo la influencia de la gravedad; en el tratamiento de agua potable, la sedimentación se basa en la ley de Stokes, que menciona que las partículas de mayor diámetro y/o mayor peso específico que el líquido son más fáciles de sedimentar, así también una menor viscosidad del líquido logra una mejor sedimentación; la figura 5 muestra el área donde se realiza dicho proceso en la PTAP.

Figura 5. Área de sedimentación de lodos de la PTAP.



Filtración: éste proceso consiste en hacer pasar el agua a través de un medio filtrante poroso, e cual puede ser arena, antracita u otro material granulado para remover impurezas del agua, tales como material particulado y flóculos. La filtración en la PTAP se realiza por medio de filtros de arena, tal como se muestra en la figura 6; donde dos bombas centrífugas transportan e impulsan el agua a través de los filtros de arena.

Figura 6. Bomba de filtrado y filtro de arena de la PTAP.



Desinfección: es el proceso de destrucción de organismos patógenos mediante el uso de cloro, agentes liberadores de cloro u otras sustancias químicas o métodos con capacidad desinfectante, en la PTAP éste proceso se realiza mediante un sistema automático de suministro de cloro, el cual se muestra en la figura 7.

Figura 7. Sistema de cloración de la PTAP.



Almacenamiento: el agua tratada y potabilizada se transporta a tres tanques de almacenamiento con capacidades de 400 m³, 700 m³ y 1000 m³.

Distribución: en el Frigorífico Vijagual S.A., el agua potable se distribuye a la planta de beneficio y las áreas administrativas de la empresa, igualmente, se realiza distribución de agua cruda (sin potabilizar) a la sección de corrales, donde se usa el recurso para lavado del área, baño de los animales previo al ingreso a la planta de beneficio, y actividades de rocería de las instalaciones de la empresa; dicha distribución se realiza con ayuda de bombas centrifugas, tal como se muestran en la figura 8.

Figura 8. Bombas de distribución de agua potable.

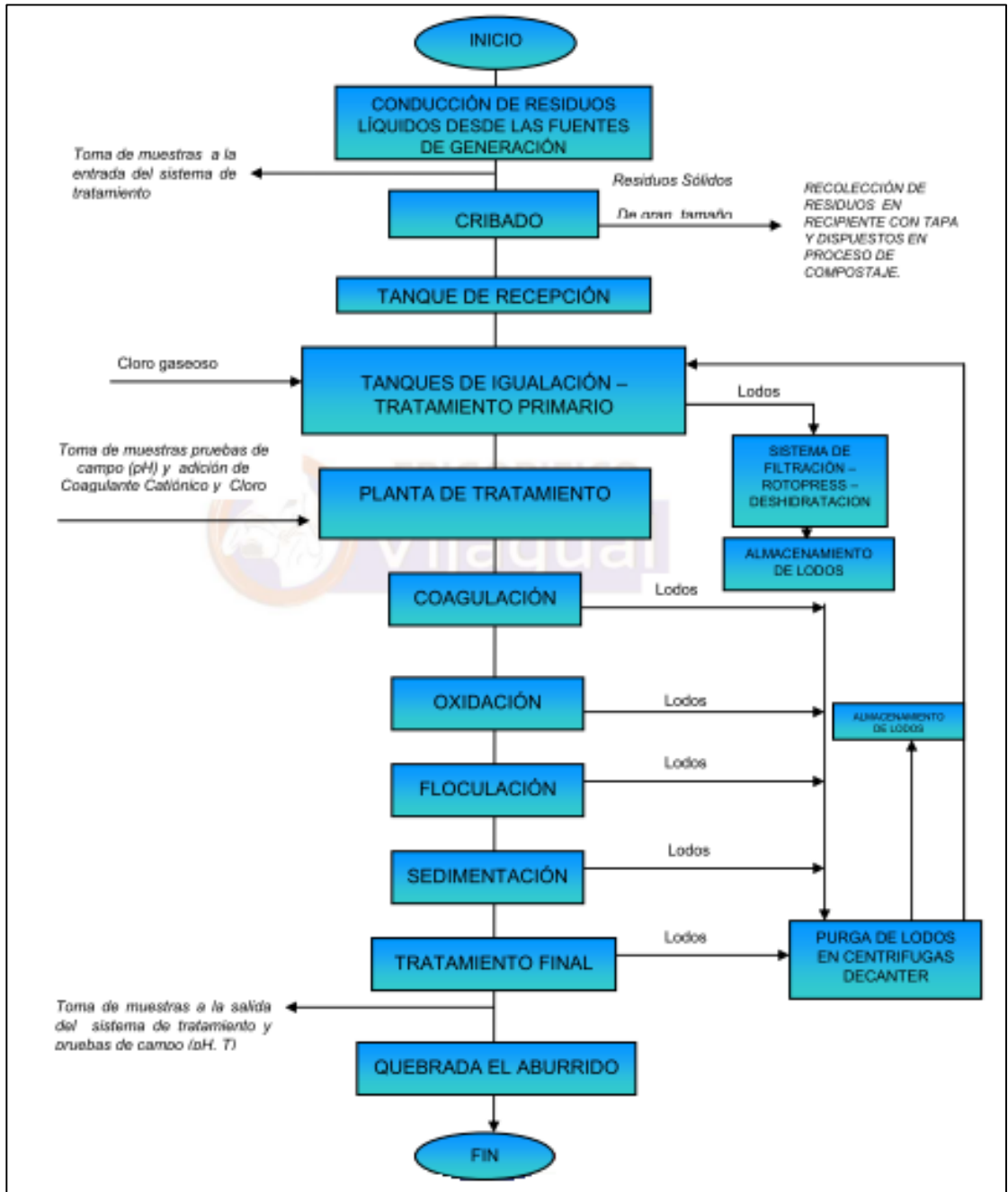


1.2.3 Proceso de tratamiento de aguas residuales. Éste se lleva a cabo en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la empresa.

Para dar cumplimiento al decreto 3930 de 2010, Norma de vertimientos, el agua que proviene los procesos productivos y operacionales del Frigorífico Vijagual debe ser tratada para su posterior vertimiento a la quebrada El Aburrido (aguas abajo); debido a esto, el Frigorífico Vijagual cuenta con los permisos de vertimientos de aguas residuales, otorgado por la CDMB.

Para llevar a cabo este proceso, dar cumplimientos a las normativas vigentes y continuar con las operaciones de la planta de beneficio, el Frigorífico Vijagual cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, la cual tiene como proceso el indicado en la figura 9, y el del cual se describen sus actividades a continuación.

Figura 9. Proceso de tratamiento de aguas residuales de la PTAR.



Fuente: FRIGORÍFICO VIJAGUAL S.A. Sistema de gestión ambiental. Bucaramanga: La Compañía, 2015.

Cribado: se compone de dos rejillas las cuales permiten la recolección de residuos sólidos de gran tamaño.

Tanque de recepción: allí se reciben todos los residuos líquidos de menor tamaño provenientes de las fuentes de generación y estos son impulsados mediante dos bombas a los tanques de igualación, dichas máquinas se muestran en la figura 10.

Figura 10. Bombas de impulsión de lodos a los tanques de igualación.



Tanques de igualación: dos tanques de 300 m³ cada uno, como se muestra en la figura 11, tienen la función de almacenar los lodos y permitir el proceso de sedimentación de sólidos; posterior a esto los sólidos sedimentados en el lecho de los tanques son purgados y conducidos por gravedad a los sistemas de filtrado de tambor rotacional.

Filtración *rotopress* (Deshidratación): los lodos provenientes de los tanques de igualación son deshidratados utilizando un filtro de tambor rotacional de fabricación italiana, marca Olliari & Contri; de éstos se obtienen lodos amarillos y agua de filtración; los lodos son transportados por tornillos sinfín para su posterior

almacenamiento y venta (ver figura 12); el agua de filtración es enviada a los tanques de tratamiento físico-químico de agua residual.

Figura 11. Tanque de igualación de la PTAR.



Figura 12. Filtro de tambor rotacional y tornillo de transporte de lodos amarillos.



Planta de tratamiento de aguas residuales: allí se realiza el tratamiento físico-químico de aguas residuales, el cual tiene como sub-procesos la coagulación, oxidación, floculación, sedimentación y tratamiento final de aguas servidas. La planta se encuentra dividida en dos módulos que cuentan con una capacidad máxima de retención de 670 m³, cada módulo se encuentra dividido en diez tanques donde se desarrolla el proceso de tratamiento y posterior vertimiento a la quebrada el aburrido; la figura 13 muestra la planta de tratamiento físico - químico.

Figura 13. Planta de tratamiento físico-químico de aguas residuales.



Deshidratación lodos: los lodos sedimentados de la planta de tratamiento físico químico de aguas residuales son purgados y enviados a unos tanques que agitan y homogenizan dichos lodos por medio de ventiladores centrífugos, para luego enviarlos por medios de bombas de tornillo a los decantadores centrífugos (ver figura 14); dichas unidades, con ayuda de un polímero secante deshidratan los lodos provenientes de los tanques de agitación, produciendo lodos negros y agua; los lodos son transportados y almacenados para su posterior venta, mientras que el agua es enviada a los tanques de igualación.

Figura 14. Tanques de agitación y Decantador Centrífugo de la PTAR.



Vertimiento agua tratada: una vez realizado todo el proceso de tratamiento en la PTAR, y tras ser conducida a la estructura de descarga, se realiza la toma de muestras finales, para la verificación del proceso; y así realizar la descarga en la quebrada El Aburrado, garantizando el cumplimiento de los diferentes parámetros exigidos por el decreto y la CDMB.

2. GENERALIDADES DEL PROYECTO

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El aumento en la competencia de la industria alimenticia, conlleva a las empresas a generar mayores índices de calidad, mejorar sus procesos operativos y garantizar un costo mínimo de operación. Este no ha sido un aspecto ajeno al Frigorífico Vijagual S.A., como ya se ha mencionado, es una empresa dedicada a la producción, comercialización y exportación de productos cárnicos tales como bovinos, porcinos y bufalinos.

La inocuidad de los procesos se acompaña imprescindiblemente de agua donde el consumo de agua por bovino beneficiado data de un promedio mensual de 2.04 m³/bovino y un gasto total de agua potable de aproximadamente 21000 m³ al mes, en lo que lleva del año 2017. Estos consumos hacen referencia tanto al proceso productivo como a los procesos operacionales.

Debido a la ubicación geográfica de la planta, la misma no cuenta con el abastecimiento de agua potable de la empresa que presta éstos servicios en el municipio, por tanto, la empresa Frigorífico Vijagual S.A. cuenta con una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) cuya fuente de abastecimiento es la quebrada El Aburrado y de donde se capta la cantidad total del agua requerida para el desarrollo de las actividades (productivas, operativas y administrativas) de la empresa.

Para dar cumplimiento al decreto de vertimientos 3930 de 2010 (la cual estipula las condiciones mínimas a la cual el agua producto de una actividad puede ser vertida a una fuente hídrica), surge la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), allí las aguas que resultan de los diferentes procesos, son manipuladas para su

posterior vertimiento, cumpliendo con los parámetros establecidos por la regulación ambiental.

Esta es una unidad bastante crítica en el Frigorífico Vijagual S.A., que aunque no hace parte del proceso productivo de beneficio, tiene vital importancia para el cumplimiento de todos los demás procesos operativos y administrativos.

Ante esta situación, si la unidad de tratamiento de aguas residuales no está en funcionamiento la empresa incurrirá en sanciones y/o cierre de operaciones de la planta de beneficio del Frigorífico Vijagual, además de poner en riesgo al medio ambiente circundante.

Los equipos más relevantes de la PTAP y PTAR, son como se muestran en la tabla 15, en su mayoría, corresponde a equipos de tipo rotativo y conforman un conjunto crítico en la operación de las respectivas plantas; para visualizar el inventario completo de los equipos que conforman la PTAP y PTAR, ver los anexos A y B respectivamente.

Actualmente, el mantenimiento realizado en la empresa Frigorífico Vijagual S.A. es de tipo preventivo, sin embargo, éste no está cumpliendo su función a cabalidad ya que la empresa no ha realizado ninguna actualización del plan de mantenimiento actual; además, la mayoría de tareas ejecutadas son de carácter correctivo. Por ende, no se puede garantizar la disponibilidad de cada uno de los equipos que de una u otra forma juegan un papel fundamental en toda la cadena de producción y post-producción de la empresa, especialmente las plantas PTAP y PTAR.

Figura 15. Equipos relevantes de las unidades PTAP y PTAR de la empresa Frigorífico Vijagual S.A.

PTAP	PTAR
11 bombas centrífugas de diferente capacidad.	12 bombas centrífugas de diferente capacidad.
2 bombas de desplazamiento positivo de igual capacidad.	6 bombas de desplazamiento positivo de diferente capacidad.
7 Electro - válvulas de mariposa.	45 válvulas de mariposa de palanca.
40 válvulas de mariposa de palanca.	2 agitadores de paletas.
3 sensores de nivel.	7 sistemas de transporte de lodos de tornillo sin fin.
7 sensores de propiedades del agua (turbiedad, cloro, pH, entre otros).	3 filtros de tambor rotacional para lodos.
1 Sistema automático de cloración.	3 decantadores centrífugos de sólidos.
5 Tanques de presión constante.	

Con base en los hechos presentados anteriormente, se hace necesario actualizar la información relacionada con las plantas PTAP y PTAR (considerando aspectos como órdenes de trabajo, control y manejo de inventarios, identificación de equipos, entre otros), como también diseñar e implementar un plan de gestión de mantenimiento estructurado, que permita aumentar la disponibilidad de los equipos, a un bajo costo financiero y garantizando la normativa ambiental vigente.

2.2 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Con el fin de contribuir en el posicionamiento industrial de la empresa Frigorífico Vijagual S.A. favoreciendo su capacidad de competir con las demás empresas comercializadoras de productos cárnicos y que se garantice el cumplimiento y desarrollo de todos sus procesos bajo los más altos estándares, normativas

vigentes y a un costo mínimo de operación; se propone aumentar la disponibilidad de las plantas PTAP y PTAR, por medio de un plan de gestión del mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) para los equipos críticos de las unidades mencionadas.

El diseño del plan RCM para las plantas PTAP y PTAR incluye la recolección, organización, análisis, tratamiento y documentación de la información de los equipos y dispositivos involucrados en cada una de las plantas, así como la información de carácter normativa, ambiental y técnica, relacionada no sólo con la captación, potabilización y vertimiento de aguas, sino también, lo que respecta a estándares para la gestión del mantenimiento.

La recopilación de la información se dispondrá en concordancia con la norma ISO 14224:2006, que aunque está orientada al sector petrolero, brinda una base para la recolección de datos de confiabilidad y mantenimiento en un formato estándar; además, presenta los lineamientos para la especificación, recolección y aseguramiento de la calidad de los datos que permitan cuantificar la confiabilidad de los equipos, lo que representa una ventaja al limitar la profundidad de detalle del análisis.

El estudio metódico de las consecuencias que provocan las fallas de un componente de un equipo crítico (FMECA), permite identificar de manera sistemática las fallas potenciales de alguno de los dispositivos que conforman las respectivas plantas de tratamiento (PTAP y PTAR), con el propósito de minimizar o eliminar el riesgo asociado a las fallas, y de ésta manera aumentar la disponibilidad, confiabilidad y vida útil de los equipos, así como optimizar algunos procesos administrativos, logísticos y financieros del área de mantenimiento de la empresa.

2.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.3.1 Objetivo general. Contribuir a la consolidación en el mercado regional y nacional de la empresa Frigorífico Vijagual S.A. mediante el aporte a su fortalecimiento industrial, a través de la elaboración de un plan de gestión del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), para las plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) y de Aguas Residuales (PTAR) con el fin de aumentar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos críticos; ratificando así el compromiso misional de la Universidad Industrial de Santander con el desarrollo de la industria santandereana.

2.3.2 Objetivos específicos.

- Actualizar el plan de mantenimiento preventivo de las unidades PTAP y PTAR, lo cual comprende aspectos tales como: inventario, codificación, frecuencias de falla, ficha técnica de los equipos, entre otros.
- Identificar las máquinas y componentes más críticos de las unidades PTAP y PTAR.
- Aplicar la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) a los equipos críticos de las unidades PTAP y PTAR.
- Realizar un análisis de modos y efectos de falla (FMECA) a los equipos críticos pertenecientes a las unidades PTAP y PTAR.

- Alimentar el sistema de información GÉMINUS con el fin de implementar la metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) a los equipos críticos de las unidades PTAP y PTAR.
- Realizar capacitación para la implementación del plan de gestión de mantenimiento con los directivos y personal encargado de las tareas respectivas del mantenimiento.
- Elaborar un análisis financiero para determinar el estado costo-beneficio de la implementación del plan de gestión de mantenimiento propuesto.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO

El mantenimiento tal como se entiende en nuestro contexto actual, es un servicio que comprende una serie estructurada de actividades que se realizan sobre un grupo de equipos, máquinas, construcciones civiles, entre otras instalaciones, con el fin de alcanzar un alto grado de confiabilidad, prolongando su vida útil y disminuyendo o eliminando (de ser posible), los posibles riesgos asociados al uso y operación de los mismos.

En términos económicos, algunos autores sostienen que el mantenimiento es todo aquello que permite alcanzar una reducción de los costos totales y mejorar la efectividad de los equipos y sistemas en determinada instalación industrial; así como el conjunto de acciones orientadas a conservar o restablecer un sistema o equipo a su estado normal de operación, para cumplir un servicio determinado en condiciones económicamente favorables y de acuerdo a las normas de protección integral.

Según John Moubray⁵, mantenimiento puede entenderse como la capacidad de asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que hagan; es decir, el mantenimiento son todas aquellas acciones que se realizan ya sean de planificación o ejecución, con el fin de que los activos de una empresa continúen realizando las tareas para las cuales fueron adquiridos.

⁵ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en Español. Leicester: Aladon Ltd, 2004. 433 p. ISBN 09539603-2-3.

3.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO

En los últimos años el mantenimiento ha jugado un papel fundamental en la industria, por ende se han desarrollado diferentes tipos de mantenimiento, algunos de los más importantes se describen a continuación.

3.2.1 Mantenimiento correctivo. También conocido como mantenimiento reactivo⁶, es el conjunto de actividades desarrolladas en los equipos o máquinas luego de presentar el fallo con el fin de recuperar la función principal del mismo y como su misma palabra lo dice, es una actividad para corregir una avería o una falla.

El mantenimiento correctivo tiene un costo alto en las empresas, ya que al momento del fallo se debe ejecutar lo más pronto posible una solución para que el equipo o máquina cumpla sus funciones, aumentando así el costo de operación de la empresa.

3.2.2 Mantenimiento preventivo. Este tipo de mantenimiento se basa en un conjunto de actividades programadas que tienen como función aumentar la vida útil, reducir la frecuencia de fallas de los equipos, entre otras, y así mitigar la consecuencia de un fallo inesperado en cualquier proceso.

El mantenimiento preventivo busca aumentar la disponibilidad de los equipos, esto significa que los equipos funcionen correctamente en el tiempo en que es requerido bajo unas condiciones dadas. También busca aumentar la confiabilidad, la cual

⁶ BORRAS PINILLA, Carlos. Ingeniería de mantenimiento: material docente. Bucaramanga, 2013. 281 p.

puede definirse como “la frecuencia con la cual ocurren fallas en el tiempo. Si no hay fallas, el equipo es 100% confiable”.⁷

3.2.3 Mantenimiento predictivo. Este tipo de mantenimiento se sustenta en una serie de acciones que consisten en realizar un monitoreo a las condiciones de operación de un equipo, para luego compararlas con unos parámetros estándar, y de acuerdo a los resultados tomar decisiones al respecto, esto permite predecir cuándo un equipo está a punto de fallar.

Haciendo un paralelo con el ser humano, es tomar los signos vitales de una persona (dado el caso, una máquina o equipo) para tener una idea o predecir de forma acertada que está padeciendo la persona.

3.2.4 Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM). El mantenimiento centrado en confiabilidad es un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga, dentro de su contexto operacional.⁸

⁷ MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento: planeación, ejecución y control. México: Alfaomega grupo editorial, 2009. p 86.

⁸ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en Español. Leicester: Aladon Ltd, 2004. 433 p. ISBN 09539603-2-3.

3.3 ANÁLISIS DE CRITICIDAD⁹

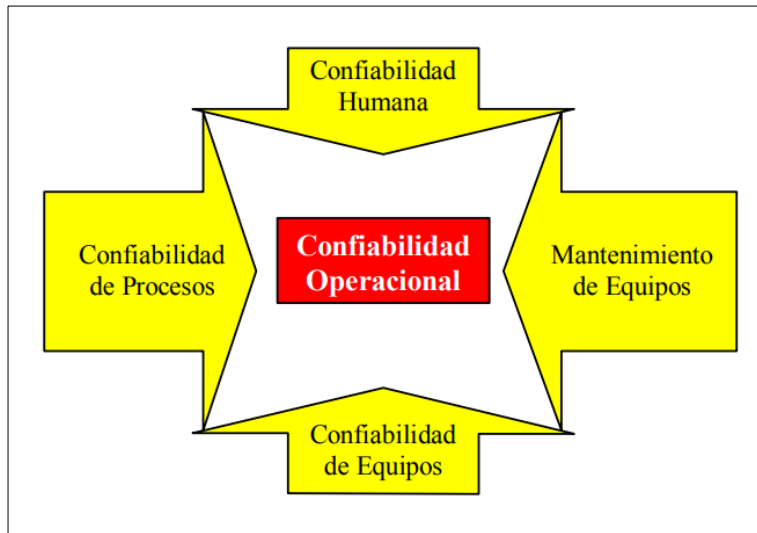
El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual.

3.3.1 Metodología. El mejoramiento de la confiabilidad operacional de cualquier instalación o de sus sistemas y componentes, está asociado con cuatro aspectos fundamentales: confiabilidad humana, confiabilidad del proceso, confiabilidad del diseño y la confiabilidad del mantenimiento, tal como se muestra en la figura 16. Lamentablemente, difícilmente se disponen de recursos ilimitados, tanto económicos como humanos, para poder mejorar al mismo tiempo, estos cuatro aspectos en todas las áreas de una empresa.

Es importante enfatizar que paralelo a la confiabilidad operacional, se debe realizar una distribución o estructura de los sistemas a evaluar; esto se conoce como la jerarquía de activos, la cual define el número de elementos o componentes de una instalación y/o planta en agrupaciones secundarias que trabajan conjuntamente para alcanzar propósitos preestablecidos. La figura 17 muestra el estilo de agrupación típica de una instalación, donde se observa que la jerarquía de los activos la constituyen grupos consecutivos.

⁹ HUERTA, Rosendo. El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional. *Revista Club de Mantenimiento*. [En línea]. 2001, vol. 2, nro. 6. pp. 12-17. [Consultado el: 08 de junio de 2017]. Disponible en: http://www.clubdemantenimiento.com/revistas_boletines/revista_mantener_06.pdf

Figura 16. Aspectos de la confiabilidad operacional.

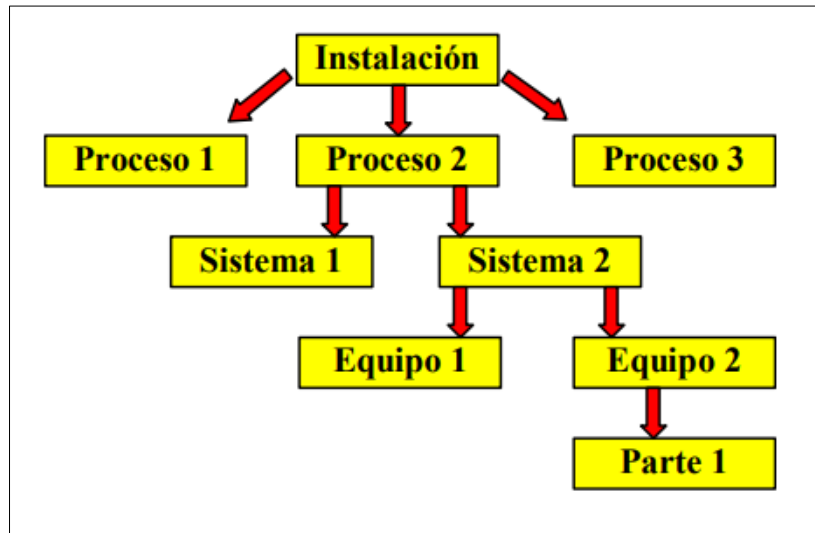


Fuente: HUERTA, Rosendo. El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional. *Revista Club de Mantenimiento*. [En línea]. 2001, vol. 2, nro. 6. pp. 12-17. [Consultado el: 08 de junio de 2017]. Disponible en: http://www.clubdemantenimiento.com/revistas_boletines/revista_mantener_06.pdf

Como puede verse en la figura 17, una planta compleja tiene asociada muchas unidades de proceso, y cada unidad de proceso podría contar con muchos sistemas, los cuales a su vez tendrían varios paquetes de equipos, y así sucesivamente. A medida que descendamos por la jerarquía, crecerá el número de elementos a ser considerados.

El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable.

Figura 17. Agrupación típica de instalaciones.



Fuente: HUERTA, Rosendo. El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional. *Revista Club de Mantenimiento*. [En línea]. 2001, vol. 2, nro. 6. pp. 12-17. [Consultado el: 08 de junio de 2017]. Disponible en: http://www.clubdemantenimiento.com/revistas_boletines/revista_mantener_06.pdf

Desde el punto de vista matemático la criticidad se puede expresar como:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia} \quad (1)$$

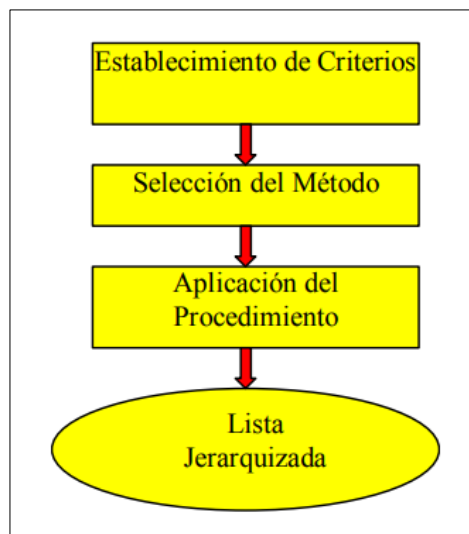
Donde la frecuencia está asociada al número de eventos o fallas que presenta el sistema o proceso evaluado y, la consecuencia está referida con: el impacto y flexibilidad operacional, los costos de reparación y los impactos en seguridad y ambiente. En función de lo antes expuesto se establecen como criterios fundamentales para realizar un análisis de criticidad los siguientes:

- Seguridad.
- Ambiente.
- Producción.

- Costos (operacionales y de mantenimiento).
- Tiempo promedio para reparar.
- Frecuencia de falla.

Un modelo básico de análisis de criticidad, es equivalente al mostrado en la figura 18. Para la selección del método de evaluación se toman criterios de ingeniería, factores de ponderación y cuantificación; así como la aplicación de un procedimiento definido para dar cumplimiento de la guía de aplicación que se haya diseñado. Por último, la lista jerarquizada es el producto que se obtiene del análisis y permite establecer prioridades, y focalizar el esfuerzo que garantice el éxito maximizando la rentabilidad.

Figura 18. Modelo básico de análisis de criticidad.



Fuente: HUERTA, Rosendo. El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional. *Revista Club de Mantenimiento*. [En línea]. 2001, vol. 2, nro. 6. pp. 12-17. [Consultado el: 08 de junio de 2017]. Disponible en: http://www.clubdemantenimiento.com/revistas_boletines/revista_mantener_06.pdf

3.3.2 Información requerida. La condición ideal sería disponer de datos estadísticos de los sistemas a evaluar que sean bien precisos, lo cual permitiría cálculos “exactos y absolutos”. Sin embargo, desde el punto de vista práctico, dado que pocas veces se dispone de una data histórica de excelente calidad, el análisis de criticidad permite trabajar en rangos, es decir, establecer cuál sería la condición más favorable, así como la condición menos favorable de cada uno de los criterios a evaluar.

3.3.3 Análisis de criticidad por el método de factores ponderados. Es una metodología de análisis de criticidad basada en el riesgo, que combina la probabilidad de ocurrencia de las fallas con sus consecuencias. Como resultado, se puede elaborar un programa de inspección destinado a definir, cuantificar y controlar los riesgos asociados a fallas en los equipos, fijando prioridades y frecuencias de inspección.

El riesgo se expresa según la ecuación:

$$Riesgo(t) = Probabilidad\ de\ falla * Consecuencias\ de\ falla \quad (2)$$

Usando esta metodología se puede hacer una estimación del riesgo causado por fallas y sus consecuencias por medio de funciones de probabilidad.

El análisis de probabilidad de falla debe abarcar todos los mecanismos potenciales de falla a los cuales es susceptible el equipo que se está estudiando. Además, debe incluir la situación donde el equipo está susceptible a múltiples mecanismos de deterioro.

Una aplicación de este método fue desarrollada por un grupo de consultoría inglesa denominada *The Woodhouse Partnership Limited*. Este método se caracteriza por

su sencillez y practicidad, soportado en el concepto del riesgo. A continuación se presenta de forma detallada la expresión utilizada para calcular la criticidad:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia o tasa de falla} * \text{Consecuencias de falla} \quad (3)$$

$$\text{Frecuencia de falla} = \text{Rango o número de falla en un tiempo determinado} \quad (4)$$

Consecuencias

$$= (\text{Impacto Operacional} * \text{Flexibilidad}) + \text{Costos de mantenimiento} \\ + \text{Impacto a la seguridad, ambiente e higiene} \quad (5)$$

3.3.4 Matriz de criticidad. Es una herramienta gráfica que permite visualizar de manera rápida el nivel de criticidad de un equipo y jerarquizar los sistemas en tres áreas:

- Área de sistemas No Críticos (NC)
- Área de sistemas de Media Criticidad (MC)
- Área de sistemas Críticos (C)

El valor de frecuencia de fallos se ubica en el eje vertical y el valor de consecuencias se ubica en el eje horizontal; en la figura 19 puede evidenciarse un ejemplo de matriz básica; sin embargo, cabe mencionar que el rango de las áreas jerarquizadas puede modificarse de acuerdo con los parámetros de los evaluadores o la industria en particular.

Figura 19. Matriz de criticidad básica.

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

Fuente: PARRA, Carlos y CRESPO, Adolfo. Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos. Sevilla: INGEMAN, 2012, pp. 57 – 65. ISBN: 978-84-95499-67-7.

3.4 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD - RCM

La Norma SAE JA1011¹⁰ define al Mantenimiento Centrado en Confiabilidad como un proceso específico usado para identificar las políticas que deben ser implementadas para administrar los modos de falla que pueden causar fallas funcionales en cualquier activo físico en su contexto operacional.

El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) puede entenderse como el procedimiento sistemático y estructurado que consiste en analizar funciones, ver las posibles fallas, evaluar las causas de fallas, estudiar sus efectos y analizar sus

¹⁰ SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. SAE JA1011: 2009. Washington: SAE, 2009. 12 p.

consecuencias para determinar los requerimientos de mantenimiento de los activos de la operación.¹¹

3.4.1 Objetivos del RCM y la gestión de confiabilidad. El RCM introduce los conceptos de función y falla funcional; donde función se define como lo que los usuarios esperan que el activo haga dentro de su contexto operativo y falla funcional se define como la incapacidad de cualquier activo de hacer lo que los usuarios quieren que haga. Es decir, la falla funcional es la negación de la función de un activo.

Lo anterior genera una amplia visión de qué podría ser en un determinado momento una falla y conduce a la generación de estrategias para evitar o controlar la aparición o consecuencia de una falla; con el RCM y la gestión de confiabilidad se incrementan las tareas proactivas (antes de la falla) y se disminuyen las reactivas (después de la falla), aumenta y se asegura la calidad del producto y el cumplimiento de la producción y se ajustan los procesos productivos para competir en mercados exigentes.

Otros beneficios importantes son el aumento del tiempo entre fallas y el aumento de la mantenibilidad y la disponibilidad. Estos beneficios se obtienen sistemáticamente y de ahí la importancia justificada de la implementación del RCM.

¹¹ SILVA ARDILA, Pedro. Confiabilidad en la práctica. Barranquilla: El autor, 2014. 155 p.

3.4.2 Siete preguntas básicas del RCM. El RCM se centra en la relación entre la organización y los elementos físicos que la componen. Antes que se pueda explorar esta relación detalladamente, se necesita saber qué tipo de elementos físicos existen en la empresa, y decidir cuáles son los que deben estar sujetos al proceso de revisión del RCM.

En la mayoría de los casos, esto significa que se debe de realizar un registro de equipos completo y dar respuesta a una serie de preguntas acerca de cada uno de los elementos seleccionados, como sigue:

1. ¿Cuáles son las funciones?
2. ¿De qué forma puede fallar?
3. ¿Qué causa que falle?
4. ¿Qué sucede cuando falla?
5. ¿Qué ocurre si falla?
6. ¿Qué se puede hacer para prevenir las fallas?
7. ¿Qué sucede si no puede prevenirse la falla?

3.4.3 Análisis de modos y efectos de falla AMEF. Es una metodología orientada a realizar un análisis profundo de las fallas existentes o potenciales de un equipo o sistema.

Este proceso de análisis debe tener en cuenta: las funciones, fallas funcionales, modos de falla y efectos de falla, para lograr determinar la severidad, recurrencia y capacidad de ser detectada por los controles establecidos, de una posible falla; generando actividades y planes de acción a corto y mediano plazo para la corrección y prevención de las fallas, garantizando el desempeño óptimo del equipo o sistema.

3.4.3.1 Funciones y sus estándares de funcionamiento. Cada elemento de los equipos debe de haberse adquirido para unos propósitos determinados. En otras palabras, deberá tener una función o funciones específicas. La pérdida total o parcial de estas funciones afecta a la organización en cierta manera. La influencia total sobre la organización depende de:

- La función de los equipos en su contexto operacional.
- El comportamiento funcional de los equipos en ese contexto.

Como resultado de esto el proceso de RCM comienza definiendo las funciones y los estándares de comportamiento funcional asociados a cada elemento de los equipos en su contexto operacional.

3.4.3.2 Fallas funcionales. Una vez definidas las funciones y los estándares de funcionamiento de cada equipo, se procede a identificar cómo puede fallar cada elemento en la realización de sus funciones. Esto lleva al concepto de una falla funcional, que se define como la incapacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado.

3.4.3.3 Modos de falla (Causas de falla). El paso siguiente es tratar de identificar los modos de falla que tienen más posibilidad de causar la pérdida de una función. Esto permite comprender exactamente qué es lo que puede que se esté tratando de prevenir. Cuando se está realizando este paso, es importante identificar cuál es la causa origen de cada falla.

Esto asegura que no se malgaste el tiempo y el esfuerzo tratando los síntomas en lugar de las causas. Al mismo tiempo, cada modo de falla debe ser considerado en

el nivel más apropiado, para asegurar que no se malgasta demasiado tiempo en el análisis de falla en sí mismo.

3.4.3.4 Efectos de las fallas. Cuando se identifica cada modo de falla, los efectos de las fallas también deben registrarse (en otras palabras, lo que pasaría si ocurriera).

Este paso permite decidir la importancia de cada falla, y por lo tanto qué nivel de mantenimiento (si lo hubiera) sería necesario. El proceso de contestar sólo a las cuatro primeras preguntas produce oportunidades sorprendentes y a menudo muy importantes de mejorar el funcionamiento y la seguridad, y también de eliminar errores. También mejora enormemente los niveles generales de comprensión acerca del funcionamiento de los equipos.

3.4.3.5 Consecuencias de las fallas. En este paso se responde a la pregunta: ¿En qué sentido es importante cada falla?, para determinar cuáles son las fallas que más afectan la organización y cuáles no, debido a las consecuencias de las fallas; se pueden afectar las operaciones, la calidad del producto, el servicio al cliente, la seguridad o el medio ambiente.

El RCM clasifica las consecuencias de las fallas en cuatro grupos:

Consecuencias de las fallas no evidentes: las fallas que no son evidentes no tienen impacto directo, pero exponen a la organización a otras fallas con consecuencias serias, a menudo catastróficas. Un punto fuerte del RCM es la forma en que trata las fallas que no son evidentes, primero reconociéndolas como tales, en segundo lugar otorgándoles una prioridad muy alta y finalmente adoptando un acceso simple, práctico y coherente con relación a su mantenimiento.

Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente: una falla tiene consecuencias sobre la seguridad si puede afectar físicamente a alguien. Tiene consecuencias sobre el medio ambiente si infringe las normas gubernamentales relacionadas con el medio ambiente. El RCM considera las repercusiones que cada falla tiene sobre la seguridad y el medio ambiente, y lo hace antes de considerar la cuestión del funcionamiento. Pone a las personas por encima de la problemática de la producción.

Consecuencias operacionales: una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (capacidad, calidad del producto, servicio al cliente o costos industriales en adición al costo directo de la reparación). Estas consecuencias cuestan dinero, y lo que cuesten sugiere cuánto se necesita gastar en tratar de prevenirlas.

Consecuencias que no son operacionales: las fallas evidentes que caen dentro de esta categoría no afectan ni a la seguridad ni a la producción, por lo que el único gasto directo es el de la reparación. Si una falla tiene consecuencias significativas en los términos de cualquiera de estas categorías, es importante tratar de prevenirlas. Por otro lado, si las consecuencias no son significativas, entonces no merece la pena hacer cualquier tipo de mantenimiento sistemático que no sea el de las rutinas básicas de lubricación y servicio.

Por eso en este punto del proceso del RCM, es necesario preguntar si cada falla tiene consecuencias significativas. Si no es así, la decisión normal a falta de ellas es un mantenimiento que no sea sistemático. Si por el contrario fuera así, el paso siguiente sería preguntar qué tareas sistemáticas (si las hubiera) se deben de realizar. Sin embargo, el proceso de selección de la tarea no puede ser revisado significativamente sin considerar primero el modo de la falla y su efecto sobre la selección de los diferentes métodos de prevención.

3.4.4 Diagrama de decisión RCM. Es una herramienta que permite seleccionar actividades adecuadas de mantenimiento para evitar la ocurrencia de cada modo de falla o disminuir sus posibles efectos. Se debe identificar el tipo de actividad de mantenimiento adecuada, y posteriormente la acción de mantenimiento concreta a ejecutar junto con la frecuencia de ejecución de la misma. La figura 20 muestra el esquema del diagrama de decisión RCM.

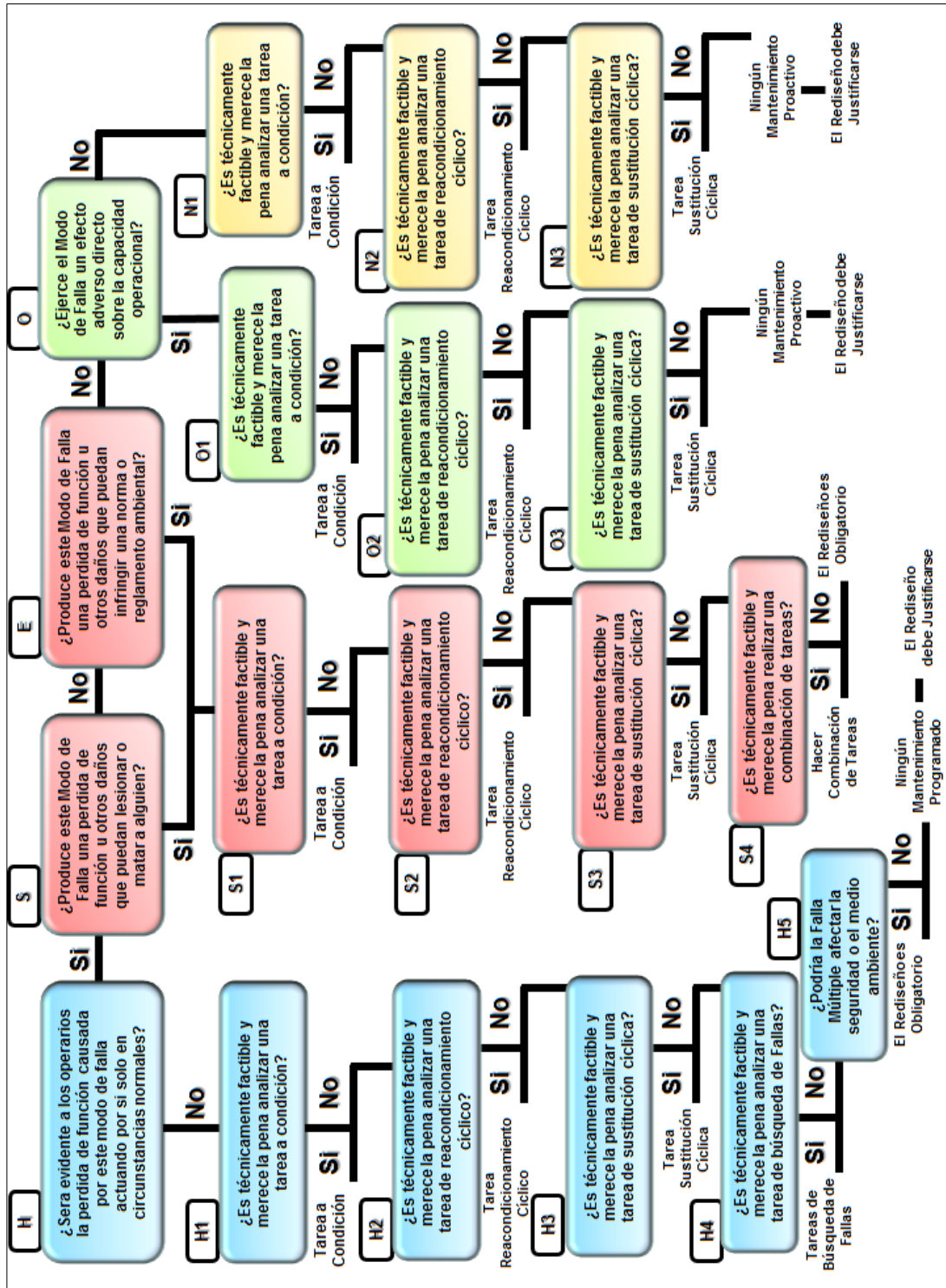
3.4.5 Hoja de decisión RCM. Es un formato que permite presentar de manera ordenada las respuestas a las preguntas formuladas en el diagrama de decisión RCM (ver figura 21), y en función de dichas respuestas registrar:

- Qué mantenimiento de rutina (si lo hay) será realizado, con qué frecuencia y quién lo hará.
- Qué fallas son lo suficientemente serias como para justificar un posible rediseño.
- Casos en los que se tome la decisión deliberada de dejar que las fallas ocurran.

La hoja de decisión se divide en dieciséis columnas. Las primeras tres nombradas como:

- Función (F).
- Falla Funcional (FF).
- Modo de falla (MF).

Figura 20. Diagrama de decisión RCM.



Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en Español. Leicester: Aladon Ltd, 2004, pp.204 - 205. ISBN 09539603-2-3.

Figura 21. Estructura de la hoja de decisión RCM.

HOJA DE DECISIÓN RCM			SISTEMA/ACTIVO					SISTEMA N°			FACILITADOR	Fecha	Hoja		
			SUB-SISTEMA/COMPONENTE					SUB-SISTEMA N°					De		
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O	S1	S2	S3	O1	O2	O3			

Las siguientes cuatro columnas corresponden a la evaluación de las consecuencias:

- Consecuencia de falla oculta (H).
- Consecuencia para la seguridad (S).
- Consecuencias para el medio ambiente (E).
- Consecuencias operacionales (O).

En las columnas ocho a diez se registrarán las tareas de la siguiente manera:

- H1/S1/O1/N1: Utilizada si fue posible encontrar una tarea a condición apropiada.
- H2/S2/O2/N2: Utilizada si fue posible encontrar una tarea de reacondicionamiento cíclico.
- H3/S3/O3/N3: Utilizada si fue posible encontrar una tarea de sustitución cíclica.

Las columnas H4, H5, S4 serán utilizadas para registrar las respuestas a las a tres acciones "a falta de" descritas anteriormente. Son seleccionadas si debe hacerse una tarea de búsqueda de fallas, un rediseño o una combinación de tareas.

En las últimas tres columnas se registra la tarea propuesta, intervalo de tiempo y quién se hará cargo de dicha actividad.

La hoja de decisión RCM muestra no sólo qué acción se ha seleccionado para tratar cada modo de falla, sino que también muestra porqué se ha seleccionado, y las actividades propuestas a seguir.

3.4.6 Tareas de mantenimiento.¹² La mayoría de la gente cree que el mejor modo de mejorar al máximo la disponibilidad de la planta es hacer algún tipo de mantenimiento de forma rutinaria; sin embargo, esto sugiere que esta acción preventiva debe consistir en una reparación del equipo o cambio de componentes a intervalos fijos.

El pensamiento tradicional sugiere que un histórico extenso acerca de las fallas anteriores permitirá determinar la duración de los elementos, de forma que se podrían hacer planes para llevar a cabo una acción preventiva un poco antes de que fueran a fallar. Esto es verdad todavía para cierto tipo de equipos sencillos, y para algunos elementos complejos con modos de falla dominantes.

En particular, las características de desgaste se encuentran a menudo donde los equipos entran en contacto directo con el producto. El reconocimiento de estos hechos ha persuadido a algunas organizaciones a abandonar por completo la idea del mantenimiento sistemático. De hecho, esto puede ser lo mejor que hacer para fallas que tengan consecuencias sin importancia. Pero cuando las consecuencias son significativas, se debe de hacer algo para prevenir las fallas, o por lo menos reducir las consecuencias.

¹² MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II. Edición en Español. Asheville: Alandon Ltd, 2004. 433 p. ISBN 09539603-2-3.

3.4.6.1 Tareas a condición. Es aquel mantenimiento preventivo basado en el monitoreo del desempeño de un sistema o de parámetros significativos para su funcionamiento y sobre el control de alertas consecuentemente determinadas. Las tareas a condición deben ser realizadas antes que aparezcan las fallas potenciales y que por el decaimiento se conviertan en fallas funcionales.

3.4.6.2 Tareas de reacondicionamiento cíclico. Conocidas también como de trabajo cíclico, consisten en readecuar la capacidad de un elemento antes o en límite de edad definido, independientemente de su condición en ese momento; para que sea propiamente una tarea de reacondicionamiento cíclico debe hacerse a intervalos fijos sin importar la condición o estado en que se encuentre el componente.

3.4.6.3 Tarea de sustitución cíclica. Consiste en descartar un elemento o componente antes, o en límite de edad definida, independientemente de su condición en este momento. Cuando reacondicionar un elemento es mucho más costoso que uno nuevo, se evalúa la posibilidad de remplazarlo.

3.4.6.4 Acciones “a falta de”. Se relacionan directamente con el estado de falla, y son seleccionadas cuando no es posible identificar una tarea proactiva efectiva. Las acciones “a falta de” incluyen tareas cíclicas de búsqueda de fallas, rediseño y ningún mantenimiento proactivo que serán definidas con la ayuda del diagrama de decisión.

4. IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS Y ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Para desarrollar una correcta y eficiente gestión de mantenimiento es necesario e indispensable tener el control sobre los equipos que posee la empresa; por tanto, tener un registro completo de los mismos, así como un sistema de identificación para cada uno de ellos es de suma importancia.

Como punto de partida se establece el inventario de las máquinas y dispositivos con los que cuenta cada una de las plantas (PTAP y PTAR) y se constituye el sistema de identificación de los mismos, con el fin de estandarizar la forma en que los involucrados con la operación, mantenimiento y gestión se refieren a los diferentes equipos.

4.1 INVENTARIO

Mediante visitas técnicas a las instalaciones de las plantas PTAP y PTAR de la empresa, se recopila la información básica de los diferentes equipos instalados, estableciendo como parámetros el tipo de equipo, referencia, características, ubicación, proceso desarrollado, modelo, y si el departamento de mantenimiento posee alguna documentación respecto del dispositivo, tal como se muestra en la tabla 2.

El inventario detallado de las plantas PTAP y PTAR pueden consultarse en los anexos A y B, respectivamente; como resultado, se aprecia que cada una de las plantas posee treinta y seis (36) equipos, los cuales son intervenidos directa o indirectamente por el área de mantenimiento de la empresa.

Tabla 2. Esquema del Inventario PTAP.

		FRIGORÍFICO VIJAGUAL S.A		CÓDIGO: FT-MTA-01		
		DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO		VERSIÓN: 1		
		INVENTARIO PTAR		PÁGINA: 1 DE 1		
Nro.	EQUIPO	REFERENCIA	CARACTERÍSTICAS	PROCESO	MODELO	CATALOGO
1	Bomba Malmedi 1	BOMBA MALMEDI MOTOR WEG	30 HP 1175 RPM 200 Lts IE1 91,1%	Impulsión a tanques	MODELO T6SA3S-B	X
2	Bomba Malmedi Auxiliar	Bomba Malmedi	? HP 1170 RPM	Impulsión a tanques	MODELO T6SA3S-B	X
3	Bomba Autolavado DCE01	BOMBA FAMAC	HMAX= 80 mca, Q=92 GPM MOTOR WEG 7,5 HP 3485 RPM	Para auto lavado de centrifuga 1	NA	X
4	Bomba Auto lavado DCE02	BOMBA BARNES	MOTOR WEG 7,5 HP para auto lavado de centrifuga 2 3500 RPM	Para auto lavado de centrifuga 2	NA	
5	Bomba Auto lavado DCE03	BOMBA PEARL	HMAX=45,5-82 mca	Para auto lavado de centrifuga 3	NA	X
6	Bomba Lodos 1	BARNES	Q=40-250 L/min	TRANSPORTE DE LODOS PARA AGITACION	NA	X

4.2 CODIFICACIÓN EQUIPOS

Una vez listados los equipos con los que cuentan las plantas, se procede a elaborar se respectivo código de identificación, de manera que sea sencillo, fácil de interpretar e indique una correlación con la respectiva ubicación y número de equipos.

Para llevar a cabo este proceso de codificación se tuvo como base la norma ISO 14224; además, con el fin de dar respuesta a los requisitos ya mencionados, en conjunto con el jefe de mantenimiento y el coordinador de calidad de la empresa, se propone implementar un código alfanumérico de tres niveles separados por un guion, tal como se muestra a continuación:

XX – YYY – NN

4.2.1 Primer nivel de codificación. Corresponde a una referencia de tipo alfabética de dos caracteres, que representa el área de ubicación del equipo. Para el caso, se tiene una distribución como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Primer nivel de codificación.

Tipo	Área
AP	Planta de Tratamiento de Agua Potable
AR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

4.2.2 Segundo nivel de codificación. Corresponde a una referencia de tipo alfabética de tres caracteres, que representa la clase de equipo. Para el caso, se tiene una distribución como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Segundo nivel de codificación.

Tipo	Clase de equipo
AGI	Agitador de paletas
BOC	Bomba centrífuga
BOT	Bomba de tornillo
DCE	Decantador centrífugo
EVM	Electroválvula de mariposa
FTR	Filtro de tambor rotacional
SCL	Sensor de cloro
SCO	Sensor de conductividad
SIC	Sistema clorador
SNI	Sensor de nivel
SPH	Sensor de pH

STU	Sensor de turbiedad
TPC	Tanque de presión constante
TSF	Tornillo sinfín
VCE	Ventilador centrífugo

4.2.3 Tercer nivel de codificación. Corresponde a una referencia de tipo numérica de dos caracteres, que representa el número consecutivo del equipo, respecto de su clase.

Por otro lado, para especificar la ubicación precisa de los equipos en cada una de las plantas, se propone un identificador alfanumérico de tres caracteres tal como se aprecia en la tabla 5; sin embargo, no se incluye en el código de identificación, para dar flexibilidad a la reubicación de los equipos en caso de ser necesario. En las tablas 6 y 7 puede apreciarse la codificación completa de los equipos de la Planta PTAP y PTAR respectivamente.


Tabla 5. Identificador de ubicación.

PTAP		PTAR	
Tipo	Ubicación	Tipo	Ubicación
ACO	Acopio	CT1	Cuarto 1
CT1	Cuarto 1	CT2	Cuarto 2
CT2	Cuarto 2	ZCL	Zona Cloración
AP1	Planta AP 1 Nueva	ZAG	Zona Agitadores
AP2	Planta AP 2 Vieja	ZFI	Zona Filtrado
CT3	Cuarto 3	ZLA	Zona lodos Amarillos
CT4	Cuarto 4	ZLN	Zona lodos Negros
DES	Desinfección	TAR	Tratamiento Aguas Residuales

Tabla 6. Codificación de equipos de la PTAP.

		FRIGORÍFICO VIJAGUAL S.A		CÓDIGO: FT-MTA-01
		DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO		VERSIÓN:
		CODIFICACIÓN/TAG DE EQUIPOS		PÁGINA: 1 DE 1
Nro.	CODIFICACIÓN	EQUIPO	UBICACIÓN	
1	AP-CNP-01	Canaleta Parshall	ACO	
2	AP-SIC-01	Sistema clorador	DES	
3	AP-BOT-01	Bomba Tornillo 1	CT1	
4	AP-BOT-02	Bomba Tornillo 2	CT2	
5	AP-BOC-01	Bomba bañaderas	CT2	
6	AP-BOC-02	Bomba bañaderas auxiliar	CT2	
7	AP-BOC-03	Bomba 1 Filtrado	AP1	
8	AP-BOC-04	Bomba 2 Filtrado	AP1	
9	AP-BOC-05	Bomba 1 distribución planta	CT3	
10	AP-BOC-06	Bomba 2 distribución planta	CT3	
11	AP-BOC-07	Bomba 3 distribución planta	CT3	
12	AP-BOC-08	Bomba 1 oficinas	CT3	
13	AP-BOC-09	Bomba 2 oficinas	CT3	
14	AP-BOC-10	Bomba 1 Tanques	CT4	
15	AP-BOC-11	Bomba 2 Tanques	CT4	
16	AP-STU-01	Sensor de Turbiedad	ACO	
17	AP-SCO-01	Sensor de Conductividad	ACO	
18	AP-SPH-01	Sensor de pH	ACO	
19	AP-SPH-02	Sensor de pH Coagulado	DES	
20	AP-SCL-01	Sensor de cloro residual	CT2	
21	AP-STU-02	Sensor de Turbiedad de agua tratada	DES	
22	AP-SNI-01	Sensor de nivel 1	AP1	
23	AP-SNI-02	Sensor de nivel 2	AP2	
24	AP-SNI-03	Sensor de nivel 3	AP2	
25	AP-EVM-01	Electroválvula Mariposa 1	ACO	
26	AP-EVM-02	Electroválvula Mariposa 2	AP1	
27	AP-EVM-03	Electroválvula Mariposa 3	AP2	
28	AP-EVM-04	Electroválvula Mariposa 4	AP2	
29	AP-EVM-05	Electroválvula Mariposa 5	AP1	
30	AP-EVM-06	Electroválvula Mariposa 6	AP2	
31	AP-EVM-07	Electroválvula Mariposa 7	AP1	
32	AP-TPC-01	Tanque de Presión Constante Para AP-BOM-01	CT2	
33	AP-TPC-02	Tanque de Presión Constante Para AP-BOM-05	CT3	
34	AP-TPC-03	Tanque de Presión Constante para AP-BOM-06	CT3	
35	AP-TPC-04	Tanque de Presión Constante para AP-BOM-07	CT3	
36	AP-TPC-05	Tanque de Presión Constante para AP-BOM-08 Y AP-BOM-09	CT3	
AUTORES		MARLON SÁNCHEZ		
		JONATHAN ROJAS		
REVISÓ		ING. JESÚS PIMIENTO		

Tabla 7. Codificación de equipos de la PTAR.

		FRIGORÍFICO VIJAGUAL S.A	CÓDIGO: FT-MTA-01
		DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO	VERSIÓN:
		CODIFICACIÓN/TAG DE EQUIPOS	PÁGINA: 1 DE 1
Nro.	CODIFICACIÓN	EQUIPO	UBICACIÓN
1	AR-BOC-01	Bomba Malmedi 1	CT1
2	AR-BOC-02	Bomba Malmedi Auxiliar	CT1
3	AR-BOC-03	Bomba Autolavado DCE01	ZLN
4	AR-BOC-04	Bomba Autolavado DCE02	ZLN
5	AR-BOC-05	Bomba Autolavado DCE03	ZLN
6	AR-BOC-06	Bomba Lodos 1	CT2
7	AR-BOC-07	Bomba Lodos 2	ZCL
8	AR-BOC-08	Bomba para cloración	ZCL
9	AR-BOC-09	Bomba Lavado	ZAG
10	AR-BOC-10	Bomba Polímero	
11	AR-BOC-11	Bomba Sumergible 1	ZAG
12	AR-BOC-12	Bomba Sumergible 2	ZAG
13	AR-BOT-01	Bomba Dosificadora 1	ZLN
14	AR-BOT-02	Bomba Dosificadora 2	ZLN
15	AR-BOT-03	Bomba Dosificadora 3	ZLN
16	AR-BOT-04	Bomba Tornillo 4	ZAG
17	AR-BOT-05	Bomba Tornillo 5	ZAG
18	AR-BOT-06	Bomba Tornillo 6	ZAG
19	AR-FTR-01	Filtro de Tambor Rotacional 1	ZLA
20	AR-FTR-02	Filtro de Tambor Rotacional 2	ZLA
21	AR-FTR-03	Filtro de Tambor Rotacional 3	ZLA
22	AR-DCE-01	Decantador Centrifugo 1	ZLN
23	AR-DCE-02	Decantador Centrifugo 2	ZLN
24	AR-DCE-03	Decantador Centrifugo 3	ZLN
25	AR-TSF-01	Tornillo sin Fin 1	ZLA
26	AR-TSF-02	Tornillo sin Fin 2	ZLA
27	AR-TSF-03	Tornillo sin Fin 3	ZLA
28	AR-TSF-04	Tornillo sin Fin 4	ZLN
29	AR-TSF-05	Tornillo sin Fin 5	ZLN
30	AR-TSF-06	Tornillo sin Fin 6	ZLN
31	AR-TSF-07	Tornillo sin Fin 7	ZLN
32	AR-TPC-01	Tanque de presión para AR-BOM-09	ZAG
33	AR-VCE-01	Ventilador Centrifugo 1	ZAG
34	AR-VCE-02	Ventilador Centrifugo 2	ZAG
35	AR-AGI-01	Agitador de paletas 1	TAR
36	AR-AGI-02	Agitador de paletas 2	TAR
AUTORES		MARLON SÁNCHEZ JONATHAN ROJAS	
REVISÓ		ING. JESÚS PIMIENTO	

4.3 ETIQUETA

Para garantizar el orden, estandarización y fácil acceso a la información básica de los equipos se propone una etiqueta como la que se muestra en la figura 22, la cual está compuesta por tres elementos importantes; el primero de ellos, es el logo corporativo, en segundo lugar el código de identificación del equipo, el cual se describió previamente, y por último, un código de lectura rápida o código QR (del inglés *Quick Response Code*).

Para la lectura del QR, basta con escanear dicho código con cualquier dispositivo electrónico que cuente con una cámara, una aplicación de lectura de código QR y acceso a internet; una vez se realiza la lectura, inmediatamente aparece un link que permite la visualización y/o descarga de la ficha técnica del equipo; más adelante en el capítulo 5 se menciona a profundidad el tema.

Ésta etiqueta se ubica y adhiere al equipo respectivo en un lugar visible, de manera que cualquier involucrado con el proceso de gestión del mantenimiento, tenga la facilidad para consultar la información básica del equipo que está interviniendo, o desea intervenir.

Figura 22. Ejemplo de etiqueta.



4.4 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

El desarrollo del análisis se basa en el método de factores ponderados expuesto en el capítulo 3. Como se menciona, éste método se caracteriza por su sencillez y practicidad, soportado en el concepto del riesgo, llegando a calcular el índice de criticidad de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia o tasa de falla} * \text{Consecuencias de falla} \quad (1)$$

Donde los indicadores de tasa de falla y consecuencias se pueden evaluar de acuerdo con las expresiones 2 y 3, respectivamente.

$$\text{Frecuencia de falla} = \text{Rango o número de falla en un tiempo determinado} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{Consecuencia} = & (\text{Impacto Operacional} * \text{Flexibilidad}) + \text{Costos de mantenimiento} \\ & + \text{Impacto a la seguridad, ambiente e higiene} \quad (3) \end{aligned}$$

4.4.1 Criterios de evaluación. A cada uno de los criterios de evaluación se le realiza una estructuración basada en los requerimientos de la empresa y las normativas legales vigentes, ya que es de interés particular cuánto está dispuesta la empresa a invertir en los costos de mantenimiento de un equipo, por ejemplo. En las tablas 8 a 12 se muestran los diferentes criterios y su valor de ponderación.

Tabla 8. Criterio de frecuencia de falla.

Criterio	Característica	Ponderación
Frecuencia de Falla	Más de 7 fallos/Año	7
	Entre 5 y 7 fallos/Año	5
	Entre 2 y 4 fallos/Año	3
	1 fallo/Año	1

Tabla 9. Criterio de impacto operacional.

Criterio	Característica	Ponderación
Impacto Operacional	Parada inmediata de la producción	7
	Parada inmediata en un sector de la producción	5
	Repercute en costos operacionales adicionales a la disponibilidad del equipo	3
	No genera ningún efecto significativo sobre el equipo y operaciones.	1

Tabla 10. Criterio de flexibilidad Operacional.

Criterio	Característica	Ponderación
Flexibilidad Operacional	No existe opción de Producción y no hay opción de respuesta	5
	Hay opción de Repuesto Compartido	3
	Repuestos disponibles	1

Tabla 11. Criterio de costos de mantenimiento.

Criterio	Característica	Ponderación
Costos de Mantenimiento	Más de un \$1.000.000	7
	Entre \$500.000 y \$1.000.000	5
	Entre \$200.000 y \$500.000	3
	Menos de \$ 200.000	1

Tabla 12. Criterio de impacto a la seguridad humana y al medio ambiente.

Criterio	Característica	Ponderación
Impacto a la Seguridad Humana y al Medio Ambiente	Afecta la seguridad humana	7
	Afecta el Ambiente/Instalaciones	5
	Afecta el ambiente provocando daños menores	3
	No provoca ningun tipo de daño a personas, instalaciones o al ambiente	1

4.4.2 Jerarquización de la criticidad. Una vez se realiza la evaluación de cada uno de los criterios para todos los equipos que componen las plantas PTAP y PTAR se procede con el cálculo de la criticidad con base en las expresiones 2 y 3; y se establece la jerarquización de la misma así:

$$\begin{aligned}
 & Criticidad \geq 100 \quad \text{CRÍTICO} \\
 & 50 < Criticidad < 100 \quad \text{MEDIANAMENTE CRÍTICO} \\
 & Criticidad \leq 50 \quad \text{NO CRÍTICO}
 \end{aligned}$$

La tabla 13 muestra el análisis de criticidad realizado a los equipos que componen las plantas PTAP y PTAR; en el Anexo C se puede visualizar el análisis completo, con la valoración de cada uno de los factores.

Tabla 13. Representación del análisis de criticidad realizado.

CODIGO	EQUIPO	Frec. Fallas	IMP. Oper.	FLEX. Oper.	Costo Mant.	Impacto Seg y Amb	CONS.	CRITICIDAD	NIVEL CRITICIDAD
AR-DCE-01	Decantador Centrífugo 1	7	3	3	7	5	21	147	CRÍTICO
AR-DCE-02	Decantador Centrífugo 2	7	3	3	7	5	21	147	CRÍTICO
AR-DCE-03	Decantador Centrífugo 3	7	3	3	7	5	21	147	CRÍTICO
AR-FTR-01	Filtro de Tambor Rotacional 1	7	3	3	5	5	19	133	CRÍTICO
AR-FTR-02	Filtro de Tambor Rotacional 2	7	3	3	5	5	19	133	CRÍTICO
AR-FTR-03	Filtro de Tambor Rotacional 3	7	3	3	5	5	19	133	CRÍTICO
AR-BOC-01	Bomba Malmedi 1	7	3	3	3	3	15	105	CRÍTICO
AR-BOC-02	Bomba Malmedi Auxiliar	7	3	3	3	3	15	105	CRÍTICO
AR-TSF-01	Tornillo sin Fin 1	3	5	5	3	1	29	87	MADIANAMENTE CRÍTICO
AR-TSF-02	Tornillo sin Fin 2	3	5	5	3	1	29	87	MADIANAMENTE CRÍTICO
AP-TPC-04	Tanque de Presión Constante para AP-BOM-07	5	3	3	1	5	15	75	MADIANAMENTE CRÍTICO
AP-TPC-05	Tanque de Presión Constante para AP-BOM-08 Y AP-BOM-09	5	3	3	1	5	15	75	MADIANAMENTE CRÍTICO
AR-BOC-11	Bomba Sumergible 1	5	3	3	1	3	13	65	MADIANAMENTE CRÍTICO
AR-BOC-12	Bomba Sumergible 2	5	3	3	1	3	13	65	MADIANAMENTE CRÍTICO
AR-BOT-01	Bomba Dosificadora 1	5	3	3	3	1	13	65	MADIANAMENTE CRÍTICO
AR-BOT-02	Bomba Dosificadora 2	5	3	3	3	1	13	65	MADIANAMENTE CRÍTICO
AR-BOT-03	Bomba Dosificadora 3	5	3	3	3	1	13	65	MADIANAMENTE CRÍTICO
AR-BOT-04	Bomba Tornillo 4	5	3	3	3	1	13	65	MADIANAMENTE CRÍTICO
AR-BOT-05	Bomba Tornillo 5	5	3	3	3	1	13	65	MADIANAMENTE CRÍTICO
AR-BOT-06	Bomba Tornillo 6	5	3	3	3	1	13	65	MADIANAMENTE CRÍTICO
AP-BOC-10	Bomba 1 Tanques	5	3	1	3	3	9	45	NO CRÍTICO
AP-BOC-11	Bomba 2 Tanques	5	3	1	3	3	9	45	NO CRÍTICO
AP-SIC-01	Sistema clorador	1	7	5	3	7	45	45	NO CRÍTICO
AR-AGI-01	Agitador de paletas 1	3	3	3	3	1	13	39	NO CRÍTICO
AP-BOC-06	Bomba 2 distribución planta	5	1	1	3	3	7	35	NO CRÍTICO
AP-BOC-07	Bomba 3 distribución planta	5	1	1	3	3	7	35	NO CRÍTICO
AR-AGI-02	Agitador de paletas 2	3	3	3	1	1	11	33	NO CRÍTICO
AP-BOC-05	Bomba 1 distribución planta	5	1	1	1	3	5	25	NO CRÍTICO
AR-BOC-03	Bomba Autolavado DCE01	3	1	6	1	1	8	24	NO CRÍTICO
AR-BOC-04	Bomba Autolavado DCE02	3	1	6	1	1	8	24	NO CRÍTICO
AR-BOC-05	Bomba Autolavado DCE03	3	1	6	1	1	8	24	NO CRÍTICO
AR-BOC-08	Bomba para cloración	3	1	6	1	1	8	24	NO CRÍTICO
AR-BOC-09	Bomba Lavado	3	1	6	1	1	8	24	NO CRÍTICO
AR-BOC-10	Bomba Polímero	3	1	6	1	1	8	24	NO CRÍTICO

4.4.3 Resultados del análisis de criticidad. Del estudio realizado puede establecerse una distribución como se muestra en las figuras 23 y 24, las cuales muestran de forma clara el porcentaje de equipos que pertenecen a cada categoría de criticidad, para cada una de las plantas.

Las distribuciones muestran que para la planta PTAP, sólo el 14% de los equipos requieren una intervención directa y continua; por el contrario, para la planta PTAR los equipos a intervenir son de alrededor del 70%; esto es justificable desde las condiciones operacionales y funcionales de cada una de las plantas.

Figura 23. Distribución de criticidad de la planta PTAP.

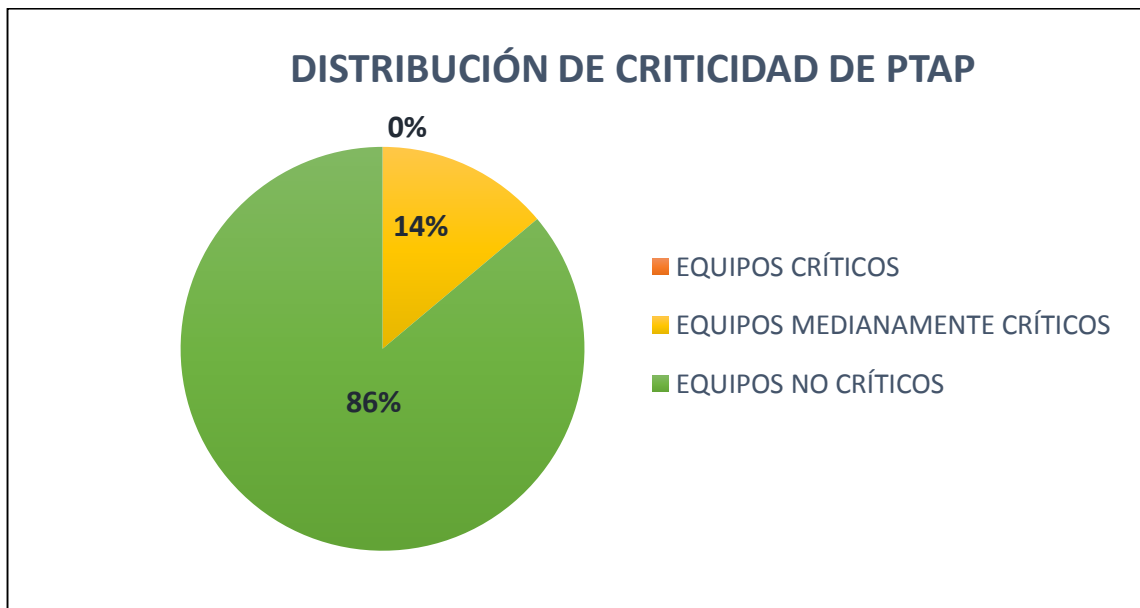
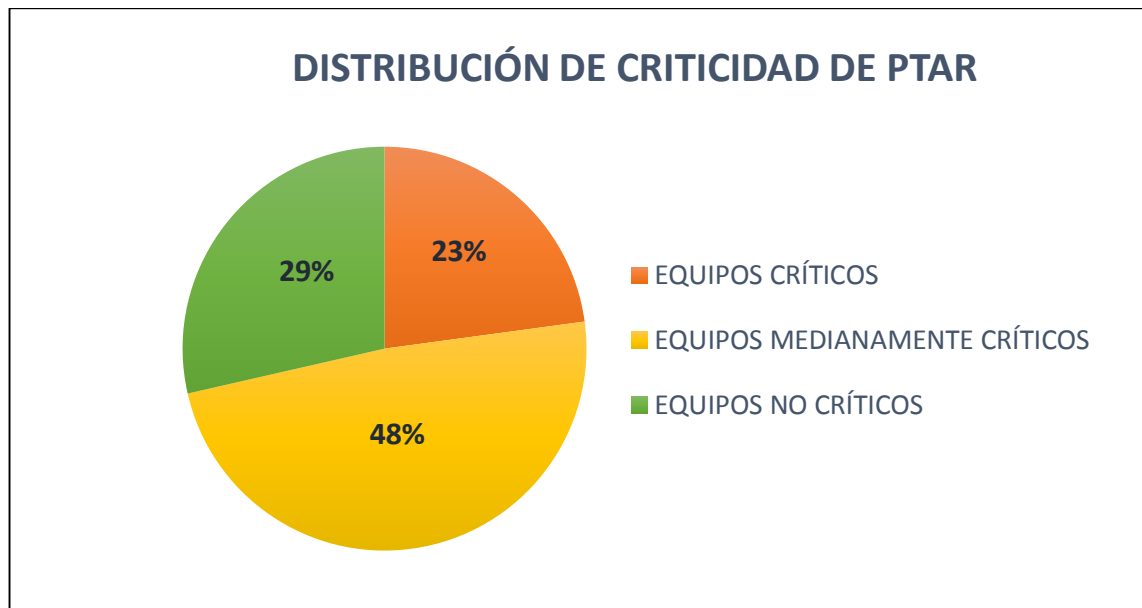


Figura 24. Distribución de criticidad de la planta PTAR.



4.5 ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

Para garantizar una adecuada distribución de recursos y optimizar las atenciones del mantenimiento, se propone aplicar el mantenimiento a los equipos desde diferentes enfoques, y orientados según el nivel de criticidad.

4.5.1 Estrategia para los equipos NO CRÍTICOS. Para esta categoría, el tipo de actividades más adecuadas son las de tipo correctivo, ya que estos equipos no merecen una atención muy especializada y puede establecerse fácilmente un plan de contingencia en caso de fallo.

4.5.2 Estrategia para los equipos MEDIANAMENTE CRÍTICOS. Para esta categoría, el tipo de actividades más adecuadas son las de tipo preventivo, ya que estos equipos requieren de una atención más adecuada, para garantizar una larga vida útil y minimizar el impacto sobre la operación en caso de fallos inesperados, por otro lado, establecer un plan de contingencia no es tan sencillo debido a sus condiciones operacionales o económicas.

4.5.3 Estrategia para los equipos CRÍTICOS. Para esta categoría, el desarrollo del análisis de modos y efectos de falla ayudará a determinar las actividades más adecuadas desde la confiabilidad, que deban aplicarse a éstas máquinas para garantizar su funcionamiento en las condiciones más seguras posibles, ya que establecer un plan de contingencia es en alto grado difícil de estructurar.

5. ACTUALIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

5.1 MANTENIMIENTO ACTUAL EN LAS PLANTAS PTAP Y PTAR.

Después de realizar visitas, reuniones y la recopilación de la información, junto con el Jefe y los técnicos del Departamento de Mantenimiento se encontraron las siguientes deficiencias en el mantenimiento de las plantas de tratamiento de agua potable PTAP y la de aguas residuales PTAR:

- El inventario de equipos se encuentra desactualizado, además, no todas las máquinas están codificados, y muchos de los dispositivos codificados, presentan incongruencias en su codificación.
- El Departamento de Mantenimiento no cuenta con un sistema de información estructurado, que permita realizar una buena gestión del mantenimiento.
- El Departamento de Mantenimiento no posee una estrategia de mantenimiento definida y acertada para los equipos que pertenecen a la PTAP y PTAR.
- La documentación técnica tales como catálogos, manuales operación y mantenimiento del fabricante, entre otros, está desactualizada.

Con estas premisas en mente, se estructura el proyecto con el fin de atacar las deficiencias encontradas. De ahí que el primer paso fue la realización del inventario y la estandarización de la codificación de los equipos, del modo en que se presentó en el capítulo 4; a esto le siguió la recopilación de la información de los equipos (tales como: fichas técnicas, manuales de mantenimiento, catálogos de los equipos, entre otros); el diseño de los planes y rutinas de mantenimiento de las máquinas pertenecientes a las plantas PTAP y PTAR.

5.1.1 Fichas técnicas. La actualización de las fichas técnicas comenzó con la creación de un nuevo formato, el cual fue aprobado por el Departamento de Calidad, y en el cual se detallan las características técnicas de los equipos.

Con la información recopilada en el desarrollo del inventario y la codificación, y con ayuda de catálogos y placas de los equipos se procedió a la creación de las fichas técnicas de cada uno de las máquinas pertenecientes a la PTAP Y PTAR. La tabla 14 muestra un ejemplo de ficha técnica, cuya finalidad es presentar la información resumida del equipo para facilitar las intervenciones y actividades de mantenimiento.

Las fichas técnicas de todos los equipos pertenecientes a la PTAP y PTAR se encuentran en los Anexos D y E respectivamente.

Tabla 14. Ficha técnica de equipos.

	FRIGORIFICO VIJAGUAL S.A		CÓDIGO: FT-MTA-01
	DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO		VERSIÓN: 3
	FICHA TÉCNICA DEL EQUIPO		PÁGINA: 1 DE 1
Nombre	Decantadora Centrífuga 1		
Código	AR-DCE-01		
Ubicación	ZLN		
Función	Deshidratación de los lodos provenientes de los tanques de agitación, produciendo agua y lodos negros		
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS			
SUBSISTEMA		PRENSA ROTACIONAL	
Equipo	Decan. Centrí.	Marca	ANDRITZ
Modelo	D5L C30 B HP	Serie	CA - 058/09
Fabricante	ANDRITZ	Densidad Máx.	1,2 [Kg/dm ³]
Vel. Nominal	2800 [RPM]	Vel. Máx.	3200 [RPM]
Vel. Rel. Mín.	1 [RPM]	Vel. Rel. Máx.	30 [RPM]
Peso Total	5000 [Kg]	T° Max.	80 [°C]
SUBSISTEMA		MOTOR DEL TAMBOR	
Marca	WEG	Modelo	W21 - IE 1
Peso	353 [Kg]	Amperaje	146/84,5/73 [A]
Voltaje	220/380/440 [V]	Fase	3 ~
Potencia	60 [HP]	Revoluc.	1780 [RPM]
T° Max.	40 [°C]		
SUBSISTEMA		MOTOR DEL TORNILLO	
Marca	WEG	Modelo	W21 - IE 1
Peso	72 [Kg]	Amperaje	34,3/22,8/19,7 [A]
Voltaje	220/380/440 [V]	Fase	3 ~
Potencia	15 [HP]	Revoluc.	1750 [RPM]
T° Max.	40 [°C]		
SUBSISTEMAS DE OPERACIÓN			
		DESCRIPCIÓN	
ELECTRÓNICO			
MECÁNICO	X		
LUBRICACIÓN	X		
HIDRÁULICO			
NEUMÁTICO			
OTRO			
OBSERVACIONES			
<p>El catálogo e información general puede encontrarlo en la base de datos del Departamento de Mantenimiento, o en la base de datos de la Oficina de Gestión Ambiental.</p>			



5.1.2 Fichas técnicas y el Código QR. Un código QR es un sistema para almacenar información en una matriz de puntos o un código de barras bidimensional creado por la compañía japonesa Denso Wave, subsidiaria de Toyota, en 1994.

La sigla QR se deriva del inglés *Quick Response*, pues sus creadores, Euge Damm y Joaco Retes, aspiran a que el código permita que su contenido se lea a alta velocidad¹³. Los códigos QR son muy comunes en Japón y de hecho son estándar en muchas industrias.

Con el avance de las tecnologías y el afán de tener información de rápido acceso se decidió almacenar las fichas técnicas creadas en códigos QR. Esto con la finalidad de realizar una codificación diferente a la usual, disminuir el papeleo y facilidad en el acceso de la información.

La figura 25 muestra la etiqueta de uno de los equipos, con su respectivo código QR; dichos códigos se generaron con ayuda de la plataforma en línea gratuita QR-code-PRO¹⁴. La etiqueta generada consta de tres partes a saber:

- Código QR.
- Logo del Frigorífico Vijagual S.A.
- Codificación de cada equipo.

¹³ CÁMARA DE COMERCIO E INDUSTRIA DE ZARAGOZA. [sitio web]. ¿Qué es un código QR?. Zaragoza: La Cámara. [Consultado el: 15 de agosto de 2017]. Disponible en: <https://www.camarazaragoza.com/faq/que-es-un-codigo-qr/>.

¹⁴ QR CODE PRO. [En línea]. Software en línea para generación de códigos QR de forma gratuita. Disponible en: <http://es.qrcode-pro.com/>

Figura 25. Etiqueta con su respectivo código QR.




Los códigos QR generados, fueron adheridos a cada equipo, tal como se muestra en la figura 26, y pueden ser escaneados con cualquier dispositivo electrónico con acceso a internet, cámara integrada y una aplicación de lector QR instalada; así mismo, las correspondientes etiquetas de las plantas PTAP y PTAR pueden consultarse en los Anexos F y G, respectivamente.

Figura 26. Etiquetas de diferentes equipos.

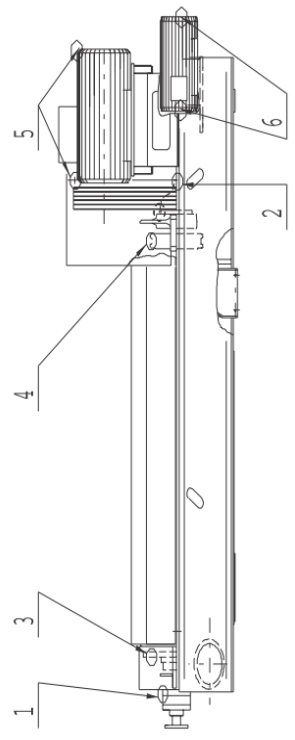


5.1.4 Cronograma de lubricación de equipos. Este documento permite establecer la frecuencia con la que se debe lubricar determinado equipo o sistema, el tipo y cantidad de lubricante, así como la actividad a realizar; la tabla 16 muestra un ejemplo de cronograma de lubricación, para los demás equipos que requieren de éste tipo de actividad, se pueden consultar todos los formatos en el Anexo J.

Tabla 16. Carta de lubricación del Decantador Centrifugo 1.

 FRIGORÍFICO VIAGUAL S.A. DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO CRONOGRAMA DE LUBRICACIÓN		CÓDIGO: VERSIÓN: 1 PÁGINA: 1 DE 1		
CLASE DE ACTIVIDAD FRECUENCIA	EQUIPO: FUNCIÓN: CLASE DE ACTIVIDAD FRECUENCIA	CÓDIGO: AR-DEC-01	UBICACIÓN: AA: Aplicar aceite CG: Cambio de grasa	
MECANISMO/PARTE A LUBRICAR		ACTIVIDAD	LUBRICANTE	
TIPO DE LUBRICACIÓN		TIPO	CANTIDAD	
SEMANAL	LUBRICACIÓN RODAMIENTOS FRONTAL (1)	RN AG	Grasa GADUS S2 V100 3- Shell-ALVANIA RL3 Color: Amarillo; Código de Almacen: MDEL12	10 Gr Aprox.
	LUBRICACIÓN REDUCTOR SUPERIOR (2)	RN AG	Grasa GADUS S2 V100 3- Shell-ALVANIA RL3 Color: Amarillo; Código de Almacen: MDEL12	10 Gr Aprox.
SEMESTRAL	LUBRICACIÓN RODAMIENTO TOPE DE HUSILLO TRANSPORTADOR (3)	CG AG	Grasa GADUS S2 V100 3- Shell-ALVANIA RL3 Color: Amarillo; Código de Almacen: MDEL12	100 Gr
	LUBRICACIÓN REDUCTOR (4)	CG AG	Grasa GADUS S2 V220 00- ALVANIA EP 2- ITEM: MAGR-108	RENOVAR TODO
ANUAL	CADA 12 MESES O 9800 HRS DE SERVICIO, LUBRICACIÓN RODAMIENTOS MOTORES (5) Y (6)	CA	POLIREX EM-ESSO	27 gr

OBSERVACIONES:
PRECAUCION EN LA CANTIDAD DE LUBRICACION.
 En caso de una baja cantidad de lubricante puede ocasionar que no se forme película lubricante lo cual se ve reflejado en un aumento de temperatura y un desgaste de las superficies en contacto el cual puede llegar incluso a ser catastrófico en caso de una adhesión entre las partes. El exceso de lubricante provoca un exceso de fricción fluida lo cual ocasiona un aumento de la temperatura y una menor vida.



AUTORES: MARLON SANCHEZ JONATHAN ROJAS	REVISO: ING. JESUS PINIENTO
---	--

VER INSTRUCCIONES DE LUBRICACION EN EL CATALOGO DEL FABRICANTE

5.2 PLAN MAESTRO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Como se menciona en el capítulo 4, del análisis de criticidad se puede establecer una clasificación de los equipos en tres niveles jerárquicos; aquellos que presentaron un nivel medio de criticidad se les aplicará una estrategia mantenimiento de carácter preventivo.

5.2.1 Planeación del mantenimiento preventivo. Para poder hablar de plan de mantenimiento de carácter preventivo es indispensable en primera instancia pensar en su planeación, la cual consiste en responder a cuestionamientos básicos respecto de las tareas a programar, como: ¿qué actividad se va a realizar?, ¿cómo se va a ejecutar?, ¿qué recursos son necesarios para desarrollarla? y ¿cuándo se va a hacer?

Dando respuesta a estas interrogantes, se puede empezar a hablar de planeación de mantenimiento; por tanto, es importante conocer cuáles son los recursos tanto materiales como de personal con los que cuenta la empresa para la realización de las actividades de mantenimiento.


5.2.1.1 Recurso humano. El Departamento de Mantenimiento del Frigorífico Vijagual cuenta con un total de 15 personas entre técnicos y supervisores, las cuales laboran 48 horas semanales; la tabla 17 muestra la distribución del talento humano del Departamento de Mantenimiento de la empresa.

Tabla 17. Distribución del talento humano del Departamento de Mantenimiento.

ESPECIALIDAD	CANTIDAD
Técnico Mecánico	4
Técnico Electricista	3
Maestro de Construcción	1
Operador PTAP	1
Operador PTAR	1
Soldador	1
Supervisor de Mantenimiento	1
Operador caldera	1
Ingeniero de software	1
Almacenista	1

5.2.1.2 Recursos materiales e insumos. Para una acertada planeación de mantenimiento es imprescindible una buena gestión de los materiales; debido a esto, con ayuda de los involucrados en la gestión del mantenimiento, se creó un *stock* mínimo de repuestos y materiales, los cuales ayudaran a una buena ejecución de las tareas de mantenimiento, disminuyendo así el tiempo de parada de los equipos; en la tabla 18 se puede apreciar parte del listado, en el Anexo K puede visualizarse la tabla completa del stock mínimo.

Tabla 18. Stock mínimo de repuestos de las plantas PTAP y PTAR.


	FRIGORÍFICO VIJAGUAL S.A.		CÓDIGO:	
	DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO		VERSIÓN: 1	
	STOCK MÍNIMO DE REPUESTOS		PÁGINA: 1 DE 1	
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO	EQUIPO/AREA	
FEA07	PVC Adapt hembra de 1" 1 1/4	1465,51	PTAP/PTAR	
FEAB35	Abrazadera de 1 1/2	1700	PTAP/PTAR	
FEAB87	Abrazadera T 08	22000	PTAP/PTAR	
FEAD04	PVC Adapmcho de 1 1/2"	1933	PTAP/PTAR	
FEAD05	PVC Adaptador macho de 1"	N/A	PTAP/PTAR	
FECA66	Cadena de paso 80	N/A	AR-TSF-01/AR-TSF-07	
FECA76	Cabezal apra bomba dosificadora	N/A	AR-BOT-XX	
FECG03	Codo galvanizado de 1 1/2	6181	PTAP/PTAR	
FECO16	PVC Codo de 1"	N/A	PTAP/PTAR	
FECOR34	Correa 5VX800	41000	AR-DCE-01 AR-DCE-02	
FECQ03	Cheque de 1 1/4	215000	AR-DCE-01 AR-DCE-02	

5.2.1.3 Planeación de las actividades de mantenimiento. Una vez establecidos los recursos, tanto humanos como materiales con los que cuenta la empresa, se procede a listar las actividades que cada uno de los equipos en la categoría “medianamente críticos” requieren para el adecuado mantenimiento; éstas rutinas obedecen a las recomendadas en los catálogos y manuales de funcionamiento de los fabricantes, así como de la experiencia de los técnicos del Departamento de Mantenimiento.

5.2.2 Plan de mantenimiento preventivo. Teniendo claro cuáles son las actividades que se van realizar sobre los equipos y que recursos tanto humano como material se requiere; se procede a crear un formato donde se plasme el tipo de tarea, la frecuencia de ejecución, el personal encargado, y los recursos materiales y de tiempo que se requieren para completar cada actividad.

La tabla 19 muestra como ejemplo el plan de mantenimiento preventivo que se propone para la bomba de lodos 1 de la PTAR; en el Anexo L se pueden consultar todos los planes de mantenimiento de tipo preventivo para los equipos medianamente críticos.

Tabla 19. Plan de Mantenimiento Preventivo para la Bomba de Lodos 1 - PTAR

	FRIGORÍFICO VIJAGUAL S.A			CÓDIGO:	
	DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO			VERSIÓN: 1	
	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO			PÁGINA: 1 DE 1	
EQUIPO:	Bomba lodos 1	CÓDIGO:	AR-BOC-06	UBICACIÓN:	ZCL
FUNCIÓN:	Conducir el lodo purgado del proceso fisicoquímico a los tanques de agitación				
FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO:			MENSUAL		
ACTIVIDAD			PERSONAL	RECURSOS MATERIAL/TIEMPO	
Inspección de fugas, ruidos y vibraciones en tubería y conjunto bomba motor			TECNICO MECANICO	1 HORA	
Inspección del consumo de energía			TECNICO ELECTRICISTA	0.25 HORAS	
FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO:			SEMESTRAL		
ACTIVIDAD			PERSONAL	RECURSOS MATERIAL/TIEMPO	
Revisión y ajuste de tornillos de anclaje del conjunto bomba motor			TECNICO MECANICO	0.5 HORAS	
Chequeo Condiciones de operación de la bomba (Presión y caudal)			TECNICO PTAP	0.25 HORAS	
Revisar temperatura de los rodamientos del motor y la bomba [Rango de Tempo.(60-66 °C)]			TECNICO MECANICO	0.25 HORAS	
FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO:			ANUAL		
ACTIVIDAD			PERSONAL	RECURSOS MATERIAL/TIEMPO	
Limpieza y/o cambio de filtro de succión			TECNICO MECANICO	3 HORAS	
Cambio de camisa de bronce conjunto motor-bomba			TECNICO MECANICO	1 HORA	
Cambio rodamientos, lavado de guarda y ventilador, y limpieza del motor			TECNICO ELECTRICISTA	8 HORAS	
Cambio de sello mecánico, empaques y anillo "O"			TECNICO MECANICO	3 HORAS	
FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO:			BIANUAL		
ACTIVIDAD			PERSONAL	RECURSOS MATERIAL/TIEMPO	
Mantenimiento mayor bomba cambio de partes desgastadas (ver manual)			TECNICO MECANICO	17 HORAS	
OBSERVACIONES:					
AUTORES	MARLON SANCHEZ		REVISO	ING. JESUS PIMIENTO	
	JONATHAN ROJAS				

5.2.3 Sábana de mantenimiento. Es una tabla que permite visualizar, de forma global, en que momento del año se deben ejecutar los planes de mantenimiento preventivo diseñados. Como se muestra en la tabla 20, la sábana de mantenimiento contiene el plan de mantenimiento, el equipo y la frecuencia de las actividades; en el Anexo M se puede consultar la sábana de mantenimiento completa y detallada.

Tabla 20. Sábana de mantenimiento.

		FRIGORÍFICO VIAGUAL S.A																	
		DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO		CÓDIGO:															
		SABANA DE MANTENIMIENTO		VERSIÓN: 1															
		PÁGINA: 1 DE 1																	
SÁBANA PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PLANTAS PTAP Y PTAR				1-Jan	2-Jan	3-Jan	4-Jan	5-Jan	6-Jan	7-Jan	8-Jan	9-Jan	10-Jan	11-Jan	12-Jan	13-Jan	14-Jan		
				1							2								
PLAN DE MANTENIMIENTO	EQUIPO	0001	0002	0003	0004	0005	0006	0007	0008	0009	0010	0011	0012	0013	0014				
PLAN MANTENIMIENTO TORNILLO SINFIN	AR-TSF-01/AR-TSF-07																		
PLAN DE MANTENIMIENTO BOMBAS HI-PRESS PTAP	AP-BOC-05/AP-BOC-07 AP-TPC-02/AP-TPC-04																		
PLAN DE MANTENIMIENTO BOMBAS CENTRIFUGAS PTAR	AR-BOC-01 AR-BOC-06 AR-BOC-07																		
PLAN DE MANTENIMIENTO BOMBAS DE TORNILLO PTAR	AR-BOT-01/AR-BOT-06																		
PLAN DE MANTENIMIENTO BOMBAS SUMERGIBLES	AR-BOC-11 AR-BOC-12																		
PLAN DE MANTENIMIENTO SISTEMA CLORADOR	AR-SIC-01																		
LUBRICACION CENTRIFUGA ANDRITZ	AR-DCE-01 AR-DCE-02 AR-DCE-03																		
LUBRICACION FILTRO TAMBOR ROTACIONAL	AR-FTR-01 AR-FTR-02																		
LUBRICACION TORNILLO SIN FIN	AR-TSF-01/AR-TSF-07																		
LUBRICACION BOMBA MALMEDI	AR-BOC-01 AR-BOC02																		


5.3 ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO PARA EQUIPOS NO CRÍTICOS

El análisis de criticidad dio como resultado tres niveles jerárquicos de criticidad, el más bajo corresponde al nivel de los equipos no críticos, para ésta clasificación de equipos se propone una estrategia de mantenimiento basado en inspecciones; ya que no se ejecutará tipo de mantenimiento proactivo; la finalidad de esta estrategia es llevar a los equipos a un mantenimiento correctivo programado, para así reducir el impacto de una falla inesperada.

5.3.1 Formatos de inspección equipos NO críticos. Este documento le permite al técnico saber que actividades de inspección debe realizar en los equipos y con qué frecuencia, de igual manera le permite tener una idea de las condiciones de operación del equipo.

La tabla 21 muestra como ejemplo el plan de inspecciones que se propone para la bomba de bañaderas de la PTAP; en el Anexo N se pueden consultar todos los planes de inspección para los equipos NO críticos.

Tabla 21. Plan de inspección para la bomba de bañaderas AP-BOC-01.

	FRIGORÍFICO VIAGUAL S.A		CÓDIGO:	
	DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO		VERSIÓN: 1	
	INSPECCIÓN EQUIPOS NO CRÍTICOS		PÁGINA: 1 DE 1	
EQUIPO:	Bomba bañaderas	CÓDIGO:	AP-BOC-01	PTAP
FUNCIÓN:	Bombea Agua filtrada la seccion de corrales			
FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO:		SEMESTRAL		
ACTIVIDAD		PERSONAL	RECURSOS MATERIAL/TIEMPO	
Inspección de fugas en tubería y bomba		TÉCNICO MECÁNICO	0.25 HORAS	
Inspección de vibraciones y ruido excesivo en la bomba (CAVITACION)		TÉCNICO MECÁNICO	0.5 HORAS	
Inspección de vibraciones y ruidos extraños en rodamientos del conjunto motor-bomba		TÉCNICO MECÁNICO	0.5 ORAS	
Inspección Consumo de energía del conjunto bomba-motor		TÉCNICO MECÁNICO	0.5 HORAS	
OBSERVACIONES:				
AUTORES	MARLON SANCHEZ	REVISÓ	ING. JESÚS PIMIENTO	
	JONATHAN ROJAS			

6. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS

Como resultado del análisis de criticidad desarrollado en el capítulo 4, se evidencia un grupo de máquinas que por sus condiciones operativas, altos índices de falla y altos costos de mantenimiento pueden considerarse críticos; la tabla 22 muestra el listado de dichos equipos, los cuales, como su código lo indica, pertenecen a la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la empresa.

Tabla 22. Listado de equipos críticos.

CÓDIGO	EQUIPO
AR-DCE-01	Decantador Centrífugo 1
AR-DCE-02	Decantador Centrífugo 2
AR-DCE-03	Decantador Centrífugo 3
AR-FTR-01	Filtro de Tambor Rotacional 1
AR-FTR-02	Filtro de Tambor Rotacional 2
AR-FTR-03	Filtro de Tambor Rotacional 3
AR-BOC-01	Bomba Malmedi 1
AR-BOC-02	Bomba Malmedi Auxiliar

Aunque se disponga de más de una máquina en la planta, los equipos listados en la tabla 22 son sólo de tres tipos: decantador centrífugo, filtro de tambor rotacional y bomba centrífuga.

Para establecer las correctas rutinas y actividades de mantenimiento, se procede a realizar un análisis de modos y efectos de falla (AMEF), y la posterior evaluación y creación de las respectivas hojas de decisión RCM.

6.1 CONTEXTO OPERACIONAL DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS

Los equipos críticos obtenidos del análisis de criticidad pertenecen a la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR, la cual opera de 6 a 7 días por semana, con un promedio de 18 horas de trabajo por día; ésta planta se caracteriza porque sus actividades se desarrollan condiciones de alta humedad y corrosión.

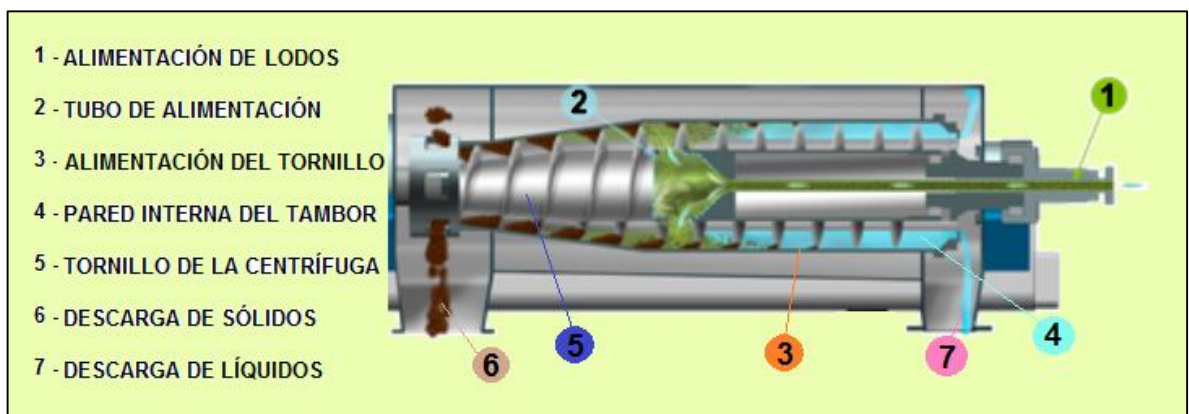
6.1.1 Decantador centrífugo. Este es uno de los equipos más importantes en la PTAR, ya que permite dar disposición a los lodos resultantes del proceso físico químico de la planta, la figura 27 muestra uno de los decantadores con los que cuenta la planta.

Figura 27. Decantador Centrífugo marca ANDRITZ.



La figura 28 muestra el esquema de funcionamiento del equipo. La mezcla de lodos provenientes de los tanques de agitación ingresan al decantador a través del tubo de alimentación central (1), hasta la zona de alimentación del tornillo (2). Desde allí es acelerado suavemente hasta llegar al tambor a través de los orificios de distribución.

Figura 28. Esquema del Decantador Centrífugo.



Tambor de la centrífuga (3) y gira a la velocidad nominal de proceso. Los lodos alcanzan la máxima velocidad circunferencial en el tambor, formando un anillo cilíndrico sobre él. Los sólidos contenidos en los lodos se depositan en la pared interior del tambor (4).

El tornillo gira a una velocidad diferencial baja relativa a la del tambor y transporta los sólidos depositados hacia el extremo cónico y estrecho del tambor (5). La velocidad diferencial determina el tiempo de permanencia de los sólidos en el tambor. Este tiempo de permanencia es determinante para lograr el contenido de sólidos secos deseados y puede ajustarse óptimamente al proceso de separación correspondiente modificando la velocidad diferencial del tornillo.

Los sólidos son expulsados a través de los orificios de salida del extremo cónico del tambor (6) hasta el tornillo sinfín colector de sólidos, de igual modo, los líquidos restantes del proceso son expulsados por el extremo cilíndrico del tambor (7).

La tabla 23 muestra las características relevantes de cada uno de los decantadores centrífugos.

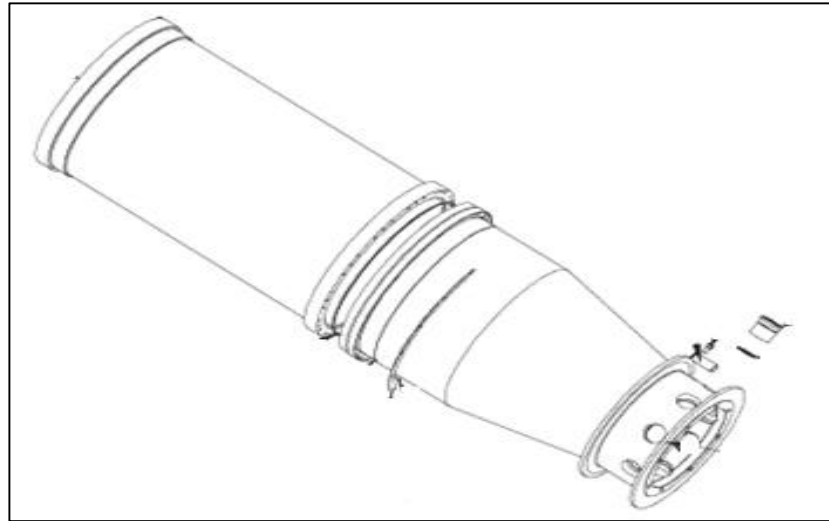
Tabla 23. Características operativas y constructivas de los Decantadores Centrífugos.

CÓDIGO	CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS Y OPERATIVAS			
	Operación	Tambor	Tornillo	Transmisión de Potencia
AR-DCE-01	<ul style="list-style-type: none"> • Deshidratación de lodos provenientes de los tanques de agitación a una tasa de 50 [kg/h]. • Tiempo en operación: 6 días/semana; 20 horas/día aprox. 	<ul style="list-style-type: none"> • Material: Acero Inoxidable 304 • Motor: Trifásico de 60 HP @ 1780 RPM 	<ul style="list-style-type: none"> • Material: Acero Inoxidable 304, con recubrimiento en Carburo de Tungsteno • Motor: Trifásico de 15 HP @ 1750 RPM 	Tipo: por correas Referencia: SPB 2000 Longitud: 2000 mm Cantidad: 5
AR-DCE-02				
AR-DCE-03		<ul style="list-style-type: none"> • Material: Acero Inoxidable 304 • Motor: Trifásico de 30 HP @ 1765 RPM 	<ul style="list-style-type: none"> • Material: Acero Inoxidable 316, con recubrimiento en Carburo de Tungsteno • Motor: Trifásico de 10 HP @ 1760 RPM 	

6.1.1.1 Tambor de la centrífuga o Bowl. Este componente del decantador se caracteriza por su forma cilíndrico-cónica, tal como se aprecia en la figura 29; su principal función es la de contención de los lodos.

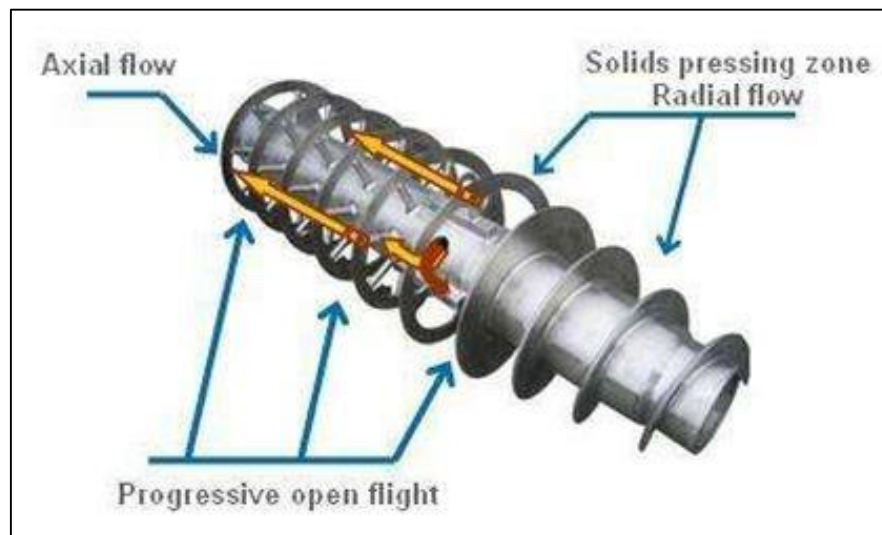
6.1.1.2 Tornillo transportador de la centrífuga. Este elemento (ver figura 30) tiene como función transportar los lodos hacia la sección cónica del tambor, para aumentar el tiempo de residencia de los sólidos (y alcanzar un menor contenido de humedad) al tiempo que optimiza el flujo de líquido clarificado, reduciendo las turbulencias hidráulicas que impiden la captura de sólidos finos y sólidos suspendidos.

Figura 29. Bowl o tambor del decantador centrífugo.



Fuente: ANDRITZ SEPARATION INC. Manual de instrucciones Decantadora D5 LC30. Curitiba, Brasil: La compañía, 2009. 145 pp.

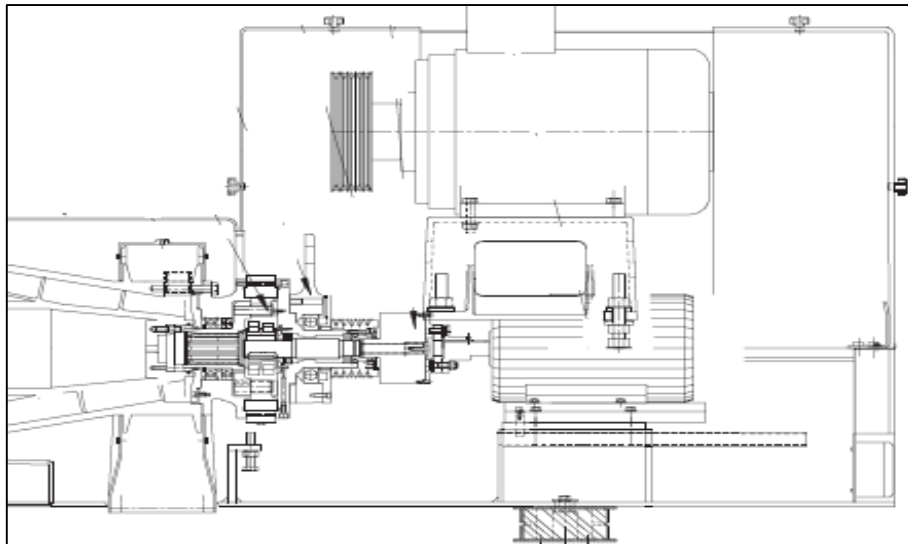
Figura 30. Tornillo del decantador centrífugo.



Fuente: ANDRITZ SEPARATION INC. Manual de instrucciones Decantadora D5 LC30. Curitiba, Brasil: La compañía, 2009. 145 pp.

6.1.1.3 Transmisión de potencia. Este sistema se compone de dos motores (uno para el tambor y otro para el tornillo) los cuales se encuentran inter-conectados mediante correas; el motor conectado al tornillo cuenta con un reductor de velocidad que permite el movimiento relativo entre el tambor y el tornillo, generando una velocidad relativa que ayuda al proceso de deshidratación de lodos, dicho sistema se muestra en la figura 31.

Figura 31. Esquema del sistema de transmisión de potencia.



Fuente: ANDRITZ SEPARATION INC. Manual de instrucciones Decantadora D5 LC30. Curitiba, Brasil: La compañía, 2009. 145 pp.

6.1.1.4 Bomba de auto-lavado y bomba de polímero. Las centrifugas ANDRITZ cuentan con una bomba centrífuga para auto-lavado la cual permite hacer una limpieza general del sistema una vez ha terminado el proceso de deshidratación de lodos, con el fin de prolongar la vida útil del equipo previniendo la corrosión.

A su vez, como se muestra en la figura 32, cuentan con unas bombas de desplazamiento positivo (bomba de tornillo) que suministran el polímero secante (sustancia química que ayuda a la deshidratación de los lodos).

Figura 32. Bombas de auto-lavado (izq.) y bomba de polímero (der.) del decantador centrífugo.



6.1.1.5 Sistema de control. Los decantadores centrífugos ANDRITZ cuentan con un sistema de control de marca Siemens, el cual posee un tablero táctil donde se pueden observar los parámetros más relevantes de operación, tal como se muestra en la figura 33; el tablero permite observar alertas, programar los ciclos de auto-lavado y los diferentes parámetros de operación.

Figura 33. Sistema de control de los decantadores centrífugos.



6.1.2 Filtro de tambor rotacional. La figura 34 muestra el esquema de funcionamiento del equipo. La mezcla de lodos provenientes de los tanques de igualación ingresan por el lado posterior hacia el contenedor de distribución, para asegurar la correcta disposición sobre toda la superficie del tambor rotacional (cilindro de filtración).

Las partículas sólidas toman contacto con la superficie y quedan retenidas en la parte exterior del cilindro o tambor, el cual mediante una rotación lenta las desplaza hacia adelante, para ser removidas mediante un dispositivo raspador; el agua filtrada pasa a través de la superficie filtrante del cilindro hacia su interior, y luego, en la parte más baja pasa nuevamente hacia el exterior de él, limpiando a su vez la superficie desde adentro.

En la tabla 24 se muestran las características de cada uno de los filtros rotacionales.

Figura 34. Esquema del Filtro de Tambor Rotacional.

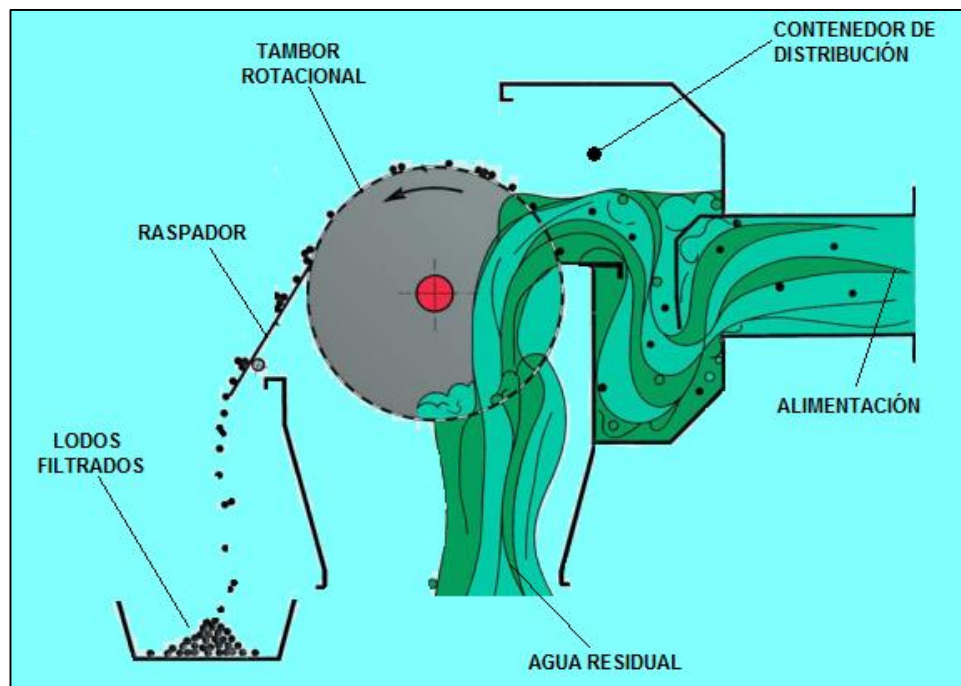


Tabla 24. Características operativas y constructivas de los Filtros de Tambor Rotacional.

CÓDIGO	CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS Y OPERATIVAS			
	Operación	Tambor	Motor	Transmisión de Potencia
AR-FTR-01	<ul style="list-style-type: none"> Filtrar los sólidos contenidos en los lodos pesados provenientes de los tanques de igualación, a una tasa de 10 [m³/h] de lodos. Tiempo en operación: 6 días/semana; 18 horas/día aprox. 	<ul style="list-style-type: none"> Material: Acero Inoxidable 310 	<ul style="list-style-type: none"> Fases: 3 Potencia: 0,9 [kw] Rev.: 1400 RPM Reductor Sinfín-Corona: i=160 	Tipo: por cadenas 1:1 Referencia: ANSI 40 Longitud: 80 mm Cantidad: 1
AR-FTR-02				
AR-FTR-03		<ul style="list-style-type: none"> Material: Acero Inoxidable 310 	<ul style="list-style-type: none"> Fases: 3 Potencia: 3,0 [kw] Rev.: 1730 RPM Reductor Sinfín-Corona: i=72,12 	Tipo: por cadenas 1:1 Referencia: ANSI 40 Longitud: 100 mm Cantidad: 1

6.1.2.1 Filtro y tanque de alimentación. El filtro es un cilindro de acero inoxidable AISI 310 como se muestra en la figura 35, con barras de sección trapezoidal en cruz, envuelta en una formación en espiral en torno a una estructura de barra longitudinal.

Figura 35. Filtro de tambor rotacional.



6.1.2.2 Transmisión de potencia. La transmisión de potencia del motor al eje del tambor rotacional se realiza mediante cadenas ANSI 40; sin embargo, el motor cuenta con un reductor de tornillo y engranajes helicoidales del tipomostrado en la figura 36, con dispositivo limitador de pre-par y par marca SEW, de 0.9 Kw de potencia, 8.75 RPM y una relación de velocidad $i=160$.

Figura 36. Montaje del sistema de transmisión de potencia de los filtros de tambor rotacional.



6.1.3 Bomba Malmédi. Este equipo, como se muestra en la figura 37, es una bomba centrífuga de alto rendimiento que tiene como función transportar el fluido (lodos) de los tanques de recepción a los tanques de igualación; la figura 38 muestra el esquema de general del equipo.

Figura 37. Bomba centrífuga Malmedi Líder.

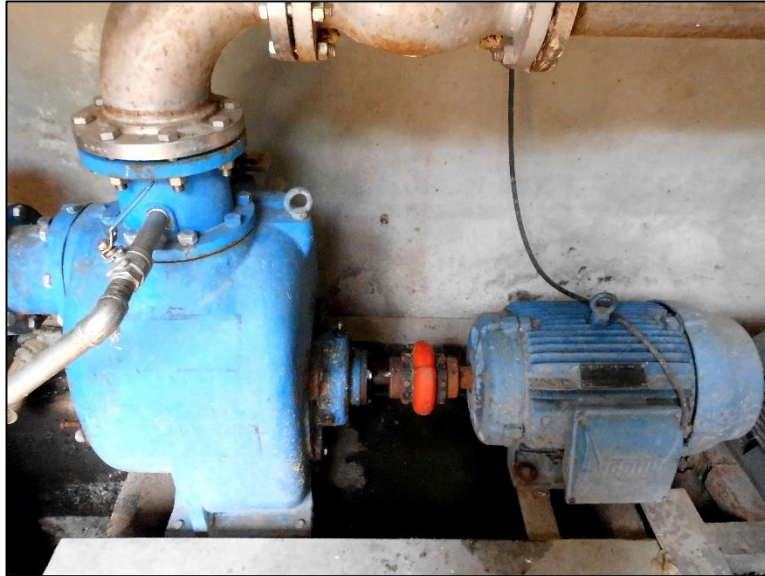
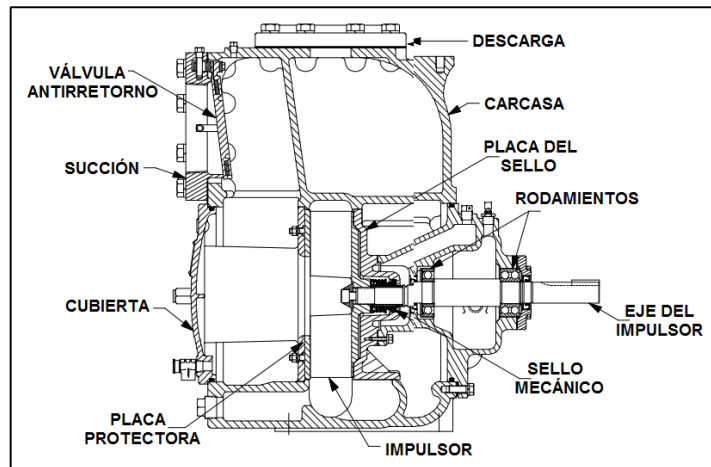


Figura 38. Esquema de la bomba Malmedi.



La tabla 25 muestra las características más relevantes de cada una de las bombas Malmedi.

Tabla 25. Características operativas y constructivas de las Bombas Malmedi.

CÓDIGO	CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS Y OPERATIVAS				
	Operación	Bomba	Impulsor	Motor	Transmisión de Potencia
AR-BOC-01	<ul style="list-style-type: none"> • Transporte de lodos del tanque de recepción a los tanques de igualación a 8,5 [GPM] y presión de 21 [PSI]. • Tiempo en operación: 6 días/semana; 15 horas/día aprox. 	<ul style="list-style-type: none"> • Carcasa: Fundición Gris clase 30. • Succión: 6 in. • Descarga: 6 in. • Diámetro máximo de sólidos: 3 in. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo: semiabierto. • No. de álabes: 2. • Material: Hierro nodular A536 clase 65-45-12. • Diámetro: 12,36 in. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fases: 3 • Potencia: 30 HP • Rev.: 1175 RPM 	Conexión directa a través de acople flexible.
AR-BOC-02				<ul style="list-style-type: none"> • Fases: 3 • Potencia: 20 HP • Rev.: 1170 RPM 	

6.2 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS

Como se menciona en el capítulo 3, el Análisis de Modos y Efectos de Fallas es una metodología orientada a indagar profundamente las fallas existentes o potenciales de un equipo o sistema.

Este proceso de análisis debe tener en cuenta: las funciones, fallas funcionales, modos de falla y efectos de falla, para lograr determinar la severidad, recurrencia y capacidad de ser detectada por los controles establecidos.

A partir del estudio del contexto operacional de cada equipo, se procede a completar un formato que contiene las funciones, fallas funcionales, modos y efectos de las fallas, y se les asigna un código o numeral, de manera que se logre identificar con seguridad el ítem que se evalúa.

La tabla 26 muestra el análisis desarrollado para el Filtro de Tambor Rotacional 1, para los demás equipos, consultar el Anexo O.

Tabla 26. AMEF del Filtro de Tambor Rotacional 1.


		FRIGORÍFICO VIJAGUAL S.A.			CÓDIGO:	
		DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO			VERSIÓN: 1	
		ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA FILTRO DE TAMBOR ROTACIONAL 1			PÁGINA: 1 DE 1	
F	FUNCIÓN	FF	FALLA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
1	Filtrar los sólidos contenidos en los lodos pesados provenientes de los tanques de igualación, a una tasa de 10 [m ³ /h] de lodos.	A	Incapacidad para separar los sólidos contenidos en los lodos.	1	Falla o irregularidades en el bobinado del motor.	No se genera movimiento del tambor, y aumenta la temperatura del motor; motor no enciende.
				2	Desajuste entre el eje del motor y el eje de la caja reductora.	Motor gira pero NO transmite movimiento y/o potencia a la caja reductora; desgaste en el eje del motor, generando vibraciones y ruidos excesivos.
				3	Falla total de la caja reductora por lubricación inadecuada.	No se evidencia movimiento del tambor ni de la caja reductora; rotura y/o desajuste de los elementos de transmisión.
				4	Obstrucción total en el ingreso del tanque de alimentación del filtro.	Tambor no filtra los lodos debido a que no hay material en el tanque de alimentación; aumento de la presión y altos niveles vibraciones de la tubería.
				5	Concentración de material particulado en los lodos inferior a 100 PPM	Tambor gira pero no filtra retira material debido a la baja concentración de material particulado de los lodos provenientes de los tanques de igualación.
		B	Separación de filtración deficiente, inferior a 5[m ³ /h]	1	Holgura excesiva entre el raspador y el tambor.	El material particulado de los lodos tratados por el tambor no son retirados en su totalidad por el raspador.
				2	Desgaste y/o deformación de la malla del tambor.	Filtrado deficiente de lodos en tambor rotatorio; tambor abollado, agujerado o desgastado por fricción con el raspador.
				3	Velocidad de rotación del tambor superior a 20 RPM	Falla del sistema controlador velocidad del motor, provocando disminución de los niveles de filtración.
		C	Velocidad de giro del tambor Inferior a 7 RPM	1	Desgaste excesivo de los eslabones de la cadena de transmisión.	Disminución de la velocidad del tambor por obstrucción en la transmisión de potencia; ruidos excesivos; desgaste y/o rotura del sprocket.
				2	Rodamientos del motor en mal estado.	Altos niveles sonoros en la ubicación de los rodamientos del motor, por falta y/o inadecuada lubricación o alta temperatura.
				3	Eje del motor desgastado y/o deformado.	Deficiente transmisión de potencia del motor; desajuste con la caja reductora o sistema de acople; altos niveles vibracionales y sonoros.
				4	Inadecuada lubricación de las chumaceras del tambor.	Disminución de la velocidad del tambor por lubricación deficiente de las chumaceras; desgaste y/o deformación de los rodamientos.

6.3 HOJAS DE DECISIÓN RCM DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS

Como se describe en el capítulo 3, una vez se identifican los modos y efectos de las fallas de una máquina, se procede a completar la hoja de decisión RCM a partir del diagrama RCM propuesto por J. Moubray; el cual muestra no sólo qué acción se ha seleccionado para tratar cada modo de falla, sino que también presenta por qué se ha seleccionado, las actividades propuestas a seguir y el responsable de la ejecución de dichas tareas.

La tabla 27 muestra la hoja de decisión para el Filtro de Tambor Rotacional 1; para los demás equipos, consultar el Anexo P.

Tabla 27. Hoja de decisión RCM del Filtro de Tambor Rotacional 1.

		FRIGORÍFICO VIAGUAL S.A.										CÓDIGO:				
		DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO										VERSIÓN: 1				
HOJA DE DECISIÓN RCM												PÁGINA: 1 DE 1				
EQUIPO:		Filtro de Tambor Rotacional 1					CÓDIGO:		AR-FTR-01			UBICACIÓN:		PTAR		
REFERENCIA DE INFORMACIÓN		EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS						ACCIÓN "A FALTA DE"				TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	A REALIZAR POR		
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5				S4	
1	A	1	S	N	N	S	S							Tarea a condición: Revisar correcto funcionamiento del motor y consumo de energía eléctrica; en caso de presenciar patrones anormales, informar al supervisor de mantenimiento.	Diario	Operador de planta
1	A	2	S	N	N	S	N	S						Tarea de reacondicionamiento: Revisar y realizar ajuste correspondientes para garantizar el acople adecuado entre el motor y la caja reductora.	Semanal	Técnico Mecánico
1	A	3	S	N	N	S	N	S						Tarea de reacondicionamiento: Desmontar, limpiar, inspeccionar y lubricar los elementos de la caja reductora.	Trimestral	Técnico Mecánico Jefe de Mantenimiento
1	A	4	S	N	N	S	S							Tarea a condición: Inspeccionar el estado de ductos y verificar adecuados niveles de flujo de lodos; de ser necesario, realizar lavado para eliminar obstrucciones.	Diario	Operador de planta
1	A	5	S	N	N	N	S							Tarea a condición: Revisar la concentración de material particulado, y si es muy fino, cerrar válvula de admisión de lodos entre dos y cuatro horas, para permitir la sedimentación de los lodos en los tanques de igualación.	Diario	Operador de planta
1	B	1	S	N	N	S	N	S						Tarea de reacondicionamiento: Inspeccionar y ajustar la posición del raspador, verificando la adecuada holgura entre el tambor y el raspador.	Semanal	Técnico Mecánico
1	B	2	S	N	N	S	N	S						Tarea de reacondicionamiento: Desmontar, limpiar, inspeccionar y corregir posibles defectos de la malla de los tambores de filtro.	Trimestral	Técnico Mecánico Jefe de Mantenimiento
1	B	3	S	N	N	S	S							Tarea a condición: Revisar correcto funcionamiento del motor y su respectivo controlador de velocidad, así como el consumo de energía eléctrica; en caso de presenciar patrones anormales, informar al supervisor de mantenimiento.	Diario	Operador de planta Técnico Electricista
1	C	1	S	N	N	S	N	S						Tarea de reacondicionamiento: Desmontar, limpiar, inspeccionar y cambiar de ser necesario, los eslabones y estado general de la cadena de transmisión.	Semestral	Técnico Mecánico
1	C	2	S	N	N	S	N	N	S					Tarea de sustitución: Desmontar el motor y reemplazar los rodamientos del mismo.	Anual	Técnico Electricista Técnico Mecánico Jefe de Mantenimiento
1	C	3	S	N	N	S	S							Tarea a condición: Revisar correcta alineación y estado general del eje del motor; de ser necesario, realizar el respectivo cambio.	Semestral	Técnico Electricista Técnico Mecánico Jefe de Mantenimiento
1	C	4	S	N	N	S	N	S						Tarea de reacondicionamiento: Desmontar, limpiar, inspeccionar y lubricar las chumaceras del tambor rotacional.	Mensual	Técnico Mecánico

7. IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

7.1 SOFTWARE DE MANTENIMIENTO

Para la ejecución y programación de las actividades de mantenimiento, es indispensable contar con un sistema que apoye la administración adecuada de los recursos del Departamento; es así, que para facilitar la gestión del mantenimiento, la mejor alternativa es un software que le permita a los responsables del área, el registro, documentación y seguimiento de las tareas y rutinas asociadas con el mantenimiento, pero que además pueda integrarse con el control de los recursos logísticos, administrativos y financieros con los que cuente la empresa.

Para el caso, la empresa Frigorífico de Vijagual S.A en una de sus mejoras optó por implementar un software de administración transversal para todas sus áreas, entre ellas el Departamento de Mantenimiento.

7.2 SOFTWARE GÉMINUS

Este software fue adquirido por la empresa, como facilidad para la administración de los recursos de cada una de sus áreas, incluyendo el Departamento de Mantenimiento.

7.2.1 Generalidades. Géminus es una empresa proveedora de software empresarial ERP, MRP, CRM y BI, con un variado y completo portafolio de productos. Cuenta con 16 años de experiencia en el mercado colombiano y alrededor de 800 clientes en las principales ciudades del país; la figura 39 muestra el logo corporativo del proveedor del software.

Figura 39. Logotipo de la empresa GÉMINUS.



Fuente: GÉMINUS SOFTWARE DE COLOMBIA S.A.S. [sitio web]. Información de la compañía. Pereira: La compañía. [Consultado el: 10 de octubre de 2017]. Disponible en: <http://web.geminus.com.co/es/>

7.2.2 Módulo de gestión de mantenimiento de equipos y maquinaria. Este módulo permite gestionar de manera sistemática las labores de mantenimiento preventivo, correctivo y acciones programadas para la atención de la maquinaria, llevando control de repuestos y tiempos de mantenimiento en las órdenes de trabajo.

Beneficios del Producto:

- Órdenes de mantenimiento preventivo, correctivo, etc.

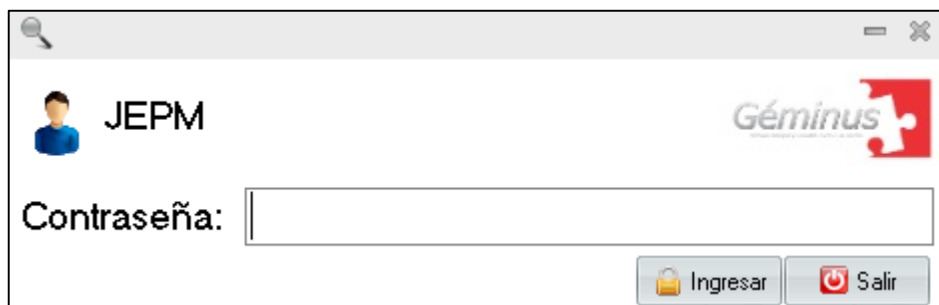
- Historia de repuestos cambiados a cada equipo.
- Frecuencia de ejecución de actividades de mantenimiento por tiempo o por horas de trabajo.
- Control por actividad de labores y normas de salud ocupacional.
- Manejo de catálogos, fichas técnicas y fotos de los mantenimientos realizados.

7.3 ALIMENTACIÓN DEL SOFTWARE GÉMINUS

Consiste en la estructuración y montaje de toda la información producto del plan de gestión de mantenimiento propuesto, al módulo de mantenimiento del software adquirido por la empresa.

7.3.1 Ingreso al sistema. Dando clic en la imagen de acceso rápido al software, de los computadores del Departamento de Mantenimiento, aparece una ventana como se muestra en la figura 40, la cual solicita el usuario y contraseña.

Figura 40. Ingreso al software GÉMINUS.



7.3.2 Interfaz principal del software. Una vez se verifica el usuario y contraseña, se accede al programa y se muestra la pantalla principal del software, donde se encuentran los diferentes módulos que compone el software; tal como se evidencia en la figura 41.

Figura 41. Interfaz principal del software GÉMINUS.



Los módulos de los cuales se compone el software son como se muestran a continuación:

- Financiero.
- Inventarios y facturación.
- Nómina.
- Producción.

- Mantenimiento.
- Gestión documental.
- Control de asistencia.
- Inteligencia de negocios.
- CRM.

7.3.3 Módulo de mantenimiento. Al dar clic sobre la pestaña del módulo de mantenimiento de la interfaz principal del software, nos muestra las diferentes divisiones que componen dicha interfaz, tal como se muestra en la figura 42.

Figura 42. Interfaz del módulo de mantenimiento del software GÉMINUS.



Las divisiones que componen el módulo son:

- Equipos.
- Fichas técnicas.

- Órdenes de trabajo.
- Informes.

7.3.3.1 Equipos. Esta sección contiene la totalidad de los equipos; además, permite crear y codificar uno nuevo y listar todas las máquinas y sus correspondientes actividades de mantenimiento.

Creación de equipos: como toda implementación de un sistema de información para la gestión del mantenimiento, se debe iniciar con la creación de las locaciones de la empresa; para este caso PTAP y PTAR; a dichas ubicaciones tienen asignadas los diferentes equipos, a los que a su vez se les establecen las actividades de mantenimiento respectivas.

Dando clic en EQUIPOS, el sistema mostrara una nueva ventana que permite la creación de una locación; sólo basta con dar clic en “definir locaciones” y crear la locación con su correspondiente nivel jerárquico.

Una vez creadas las locaciones, se procede a crear los equipos; para ello se debe dar clic en adicionar y llenar cada uno de los campos del equipo a crear, tal como se muestra en la figura 43; además, el software permite asignar un código único de identificación, cargar las características técnicas de cada máquina, adjuntar archivos como manuales, fichas técnicas, imágenes, etc., en formato .pdf y .jpeg.

Finalmente, las figuras 44 y 45 muestran el listado de todos los equipos creados de la PTAP y PTAR respectivamente, con la información y ficha técnica de cada uno de ellos.

Figura 43. Creación de equipos.

The screenshot shows the 'Manejo de equipos' application window with the title '<Localización: PTAP>'. The interface includes a toolbar with icons for 'Adicionar', 'Modificar', 'Eliminar', 'Agregar equipo', and 'Cerrar'. A tree view on the left shows a hierarchy of locations under 'Planta', with 'PTAP' selected. The main area is divided into tabs: 'Datos básicos', 'Ficha Técnica', 'Actividades', 'Traslados', 'Historico', and 'Horometro'. The 'Datos básicos' tab is active, displaying a form for a new equipment entry. The form fields are as follows:

Cod Activo Fijo	AP-BOC-01	Nombre	BOMBA BAÑADERAS
Fecha de Compra/instalación	14/10/2002	Vencimiento garantía	14/10/2002
# de serie		Referencia	
Módulo	151SHCE	Código Barras	
Costo de Compra			
Centro de costo	0102 = PLANTA DE AGUA POTABLE		
Fabricante	WDM PUMPS		
Proveedor	BARNES DE COLOMBIA		
País de origen			
Tipo de equipo	BOMBA	<input type="checkbox"/> Es máquina principal	
Estado	DESUSO (I)		

Below the form are two empty text areas labeled 'Notas' and 'Otras Observaciones'. At the bottom of the window are 'Expandir' and 'Contraer' buttons.

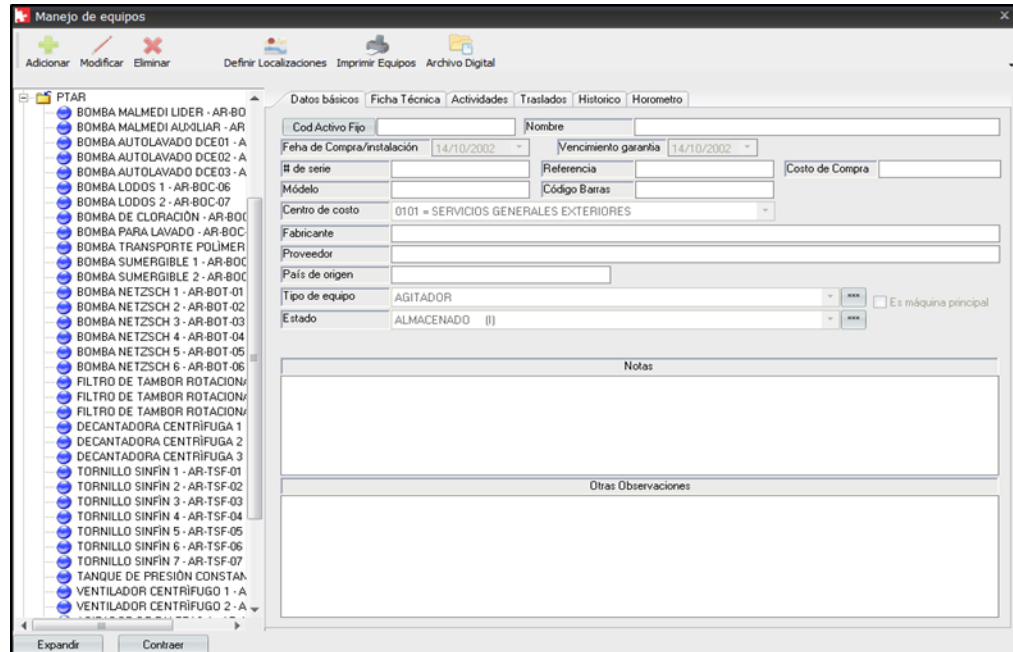
Figura 44. Listado de equipos PTAP.

The screenshot shows the 'Manejo de equipos' application window with the title 'Manejo de equipos'. The toolbar includes 'Adicionar', 'Modificar', 'Eliminar', 'Definir Localizaciones', 'Imprimir Equipos', and 'Archivo Digital'. The tree view on the left shows 'PTAP' selected, displaying a list of equipment items. The main area shows the 'Datos básicos' tab for a selected item, with the following details:

Cod Activo Fijo		Nombre	
Fecha de Compra/instalación	14/10/2002	Vencimiento garantía	14/10/2002
# de serie		Referencia	
Módulo		Código Barras	
Centro de costo	0101 = SERVICIOS GENERALES EXTERIORES		
Fabricante			
Proveedor			
País de origen			
Tipo de equipo	AGITADOR		
Estado	ALMACENADO (I)		

Below the form are two empty text areas labeled 'Notas' and 'Otras Observaciones'. At the bottom of the window are 'Expandir' and 'Contraer' buttons.

Figura 45. Listado de equipos PTAR.



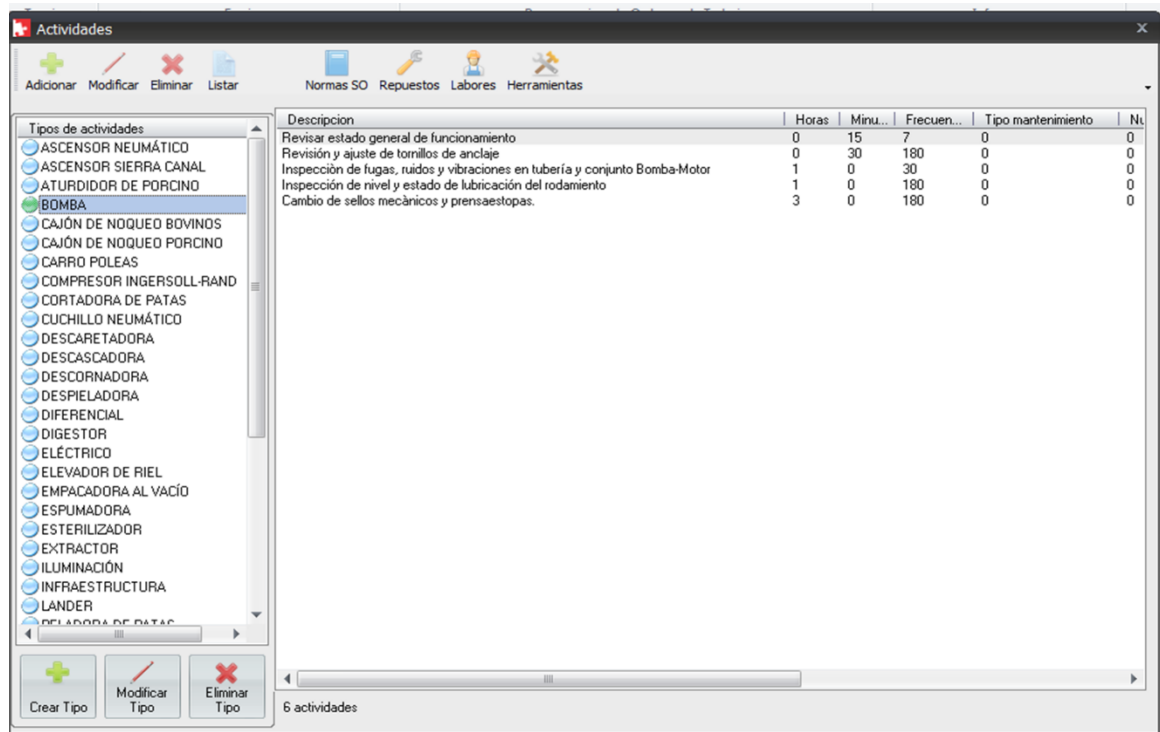
7.3.3.2 Fichas técnicas. Cuenta con dos ítems; el primero es el de tipos de equipos, que corresponde a la denominación general de la máquina, como motor, bomba, compresor, etc.; el otro corresponde a las actividades que se aplicarán a una orden de trabajo y que pueden ser asociadas a los equipos como se mostrará más adelante.

Clases de equipos: esta sección permite crear las clases de máquinas y asociarlas con cada uno de los equipos ya establecidos según corresponda. Por ejemplo, se crea la clase de máquina llamada “BOMBA”, y se le asocia a las bombas centrífugas creadas de la PTAR.

Actividades: corresponde a la creación de las rutinas y acciones de mantenimiento en el software Géminus. Estas actividades corresponden a las ya mencionadas en los capítulos 5 y 6. Para proceder su creación en el software, estás deben ir

asociadas a una clase de equipo, por ejemplo, se procede a cargar las actividades de la clase 'BOMBA' como se muestra en la figura 46.

Figura 46. Actividades de mantenimiento por clase de equipo.



Para la creación de las actividades, se da clic sobre la clase de equipo y se pulsa la opción “Adicionar”, donde se llenan las casillas mostradas en la figura 47, que corresponden a la descripción (título de la actividad), tipo de mantenimiento, tiempo de duración de la actividad y frecuencia de ejecución.

En caso que se requiera, el software permite asociar repuestos y herramientas por actividad, además de un listado de instrucciones paso a paso para la ejecución de la actividad, denominado como “labores por actividad”, tal como muestra en las figuras 48 y 49 respectivamente.

Figura 47. Creación de actividades.

Nueva actividad
Tipo actividad: BOMBA

Descripción

Tipo mantenimiento: PREDICTIVO

Tiempo Horas: [] Tiempo Minutos: [] Numero max veces: []

Frecuencia de Realizacion:

Frecuencia en días: []

Por Horometro, Kilometro u otra Unidad de Frecuencia:

Unidad de Frecuencia: []

Frecuencia: [0]

✓ Agregar ✗ Cerrar

Figura 48. Repuestos por actividad.

Repuestos por actividad

Revisar estado general de funcionamiento

TIPO

*** Producto ***

Bodega: []

Cantidad: [] Unidad de Medidda

✓ Aceptar

Figura 49. Labores por actividad.

Labores por actividad

Adicionar Modificar Eliminar

Revisar estado general de funcionamiento

1. Realizar Inspección visual sobre el conjunto bomba-motor.
2. Tomar registro de presión y caudal de operación.
3. Revisar fugas en tubería y bomba
4. Tomar temperatura de los rodamientos en el motor

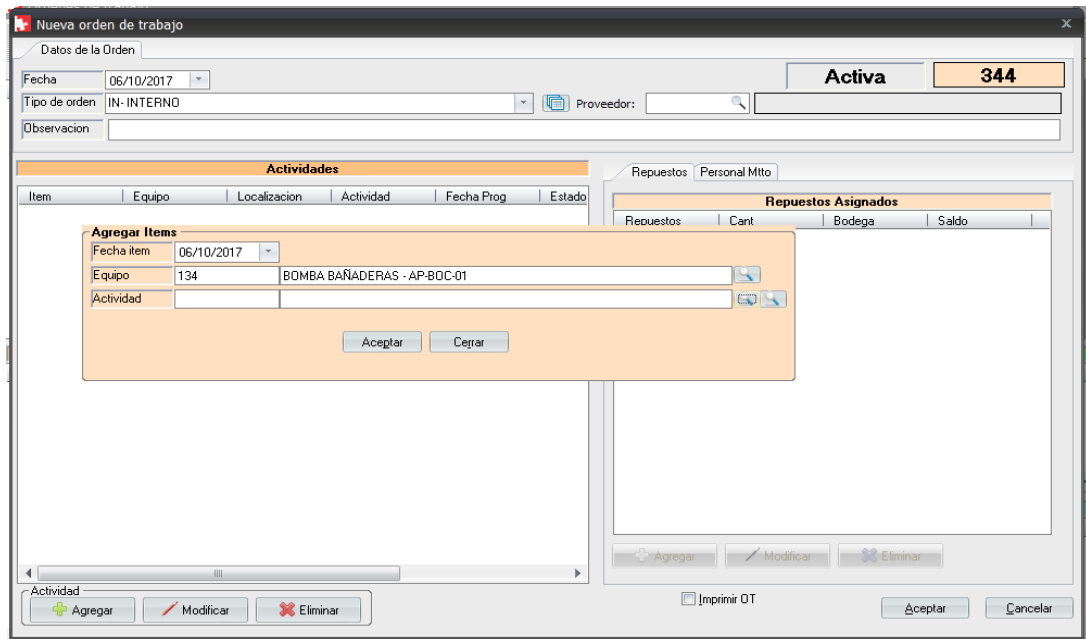
7.3.3.3 Programación de órdenes de trabajo. Abarca el conjunto actividades pendientes, las actividades semanales ejecutadas y por ejecutar, el registro de las órdenes de trabajo; además permite crear nuevas OT así como dar cierre a las existentes.

Gestión de órdenes de trabajo: esta sección permite crear, buscar, listar y cerrar las órdenes de trabajo existentes.

Para crear una orden de trabajo se procede a dar clic en “Gestión órdenes de trabajo” y pulsar “Adicionar”. Se desprende otra ventana como lo muestra la figura 50, la cual le solicita llenar los siguientes campos:

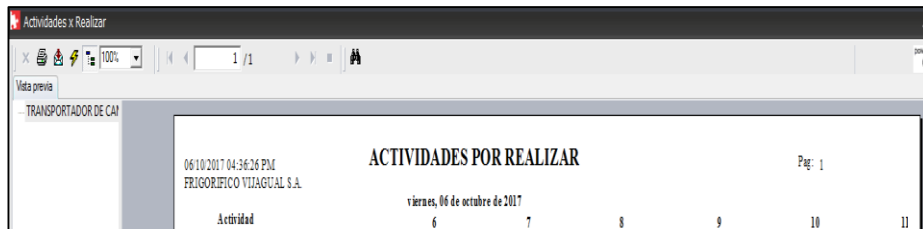
- Fecha de creación.
- Tipo de orden. La interna hace referencia a una orden de trabajo para los funcionarios del Departamento de Mantenimiento de la empresa, y externa corresponde a una orden de trabajo que requiere un servicio especializado ajeno a la empresa.
- Actividades: corresponde a las actividades a ejecutar en la OT.
- Equipo: activo al cual se le ejecutará la OT.
- Repuestos: listado de materiales y accesorios necesarios para la realización de la OT.
- Estado: corresponde al estado actual de ejecución de la orden, ya sea “Ejecutada” o “No ejecutada”.

Figura 50. Creación de orden de trabajo.



Actividades pendientes: esta sección permite visualizar y obtener un documento de las actividades que faltan por realizarse, con el fin de establecer un control de las actividades de mantenimiento planeadas y no planeadas; como se muestra en la figura 51.

Figura 51. Actividades pendientes.



Actividades semanales: esta sección permite visualizar y/o crear las actividades semanales que se deben realizar a los equipos, de acuerdo con la frecuencia de ejecución previamente establecida; además, permite filtrar dichas actividades por equipo o locación, como se muestra en la figura 52.

Figura 52. Listado de actividades semanales.

Cierre de órdenes de trabajo: esta sección permite formalizar la ejecución total de una OT, o cerrar aquellas OT que no se realizaron por algún motivo, además, permite llevar un control de las horas programadas, y compararlas con las horas reales de ejecución., con el fin de mejorar la planeación del mantenimiento.

7.3.3.4 Informes. Muestra un reporte de las actividades ejecutadas a cada uno de los equipos.

7.4 CAPACITACIÓN EN EL PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

Para garantizar el cumplimiento de las actividades de mantenimiento propuestas, es indispensable contar con el apoyo de todos y cada uno de los involucrados en la gestión, pero sobre todo, en la ejecución de las rutinas de inspección, lubricación, cambio de repuestos, y demás establecidas para un funcionamiento óptimo de las plantas PTAP y PTAR.

Con miras a respaldar la adecuada gestión de mantenimiento y adicional al proceso de alimentación del software GÉMINUS, se hizo entrega de dos copias en formato físico de lo descrito en la tabla 28, tal como se muestra en la figura 53; lo cual puede constatarse en el Anexo Q.

Tabla 28. Documentación entregada al Frigorífico Vijagual S.A.

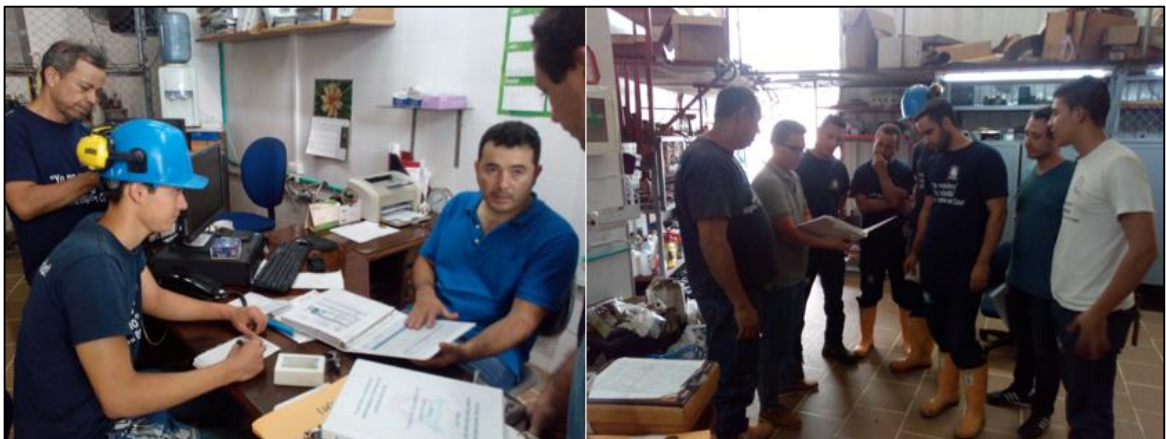
Ítem	Descripción	Contenido
Folder A	Plan para la gestión del mantenimiento Planta de Agua Potable - PTAP -	Fichas técnicas de los equipos. Hojas de vida de los equipos. Análisis de criticidad. Programas de mantenimiento preventivo.
Folder B	Plan para la gestión del mantenimiento Planta de Aguas Residuales - PTAR -	Fichas técnicas de los equipos. Hojas de vida de los equipos. Análisis de criticidad. Cronograma de lubricación de equipos. Programas de mantenimiento preventivo. Análisis de modos y efectos de falla de los equipos críticos. Hojas de decisión RCM.
CD	Información Plan de Mantenimiento	Inventario y codificación de las plantas. Fichas técnicas y hojas de vida de equipos. Etiquetas de codificación de equipos. Información (catálogos, manuales, etc.) de todos los equipos. Formatos de mantenimiento. Formatos de mantenimiento preventivo de los equipos. Análisis de criticidad y documentación de RCM de los equipos críticos.

Figura 53. Documentación entregada al Frigorífico Vijagual S.A.



Por otro lado, se realizaron charlas de socialización y capacitación en el uso y manejo de los formatos, fichas y demás documentación entregada, a los técnicos de mantenimiento y operadores de las plantas, los supervisores de las áreas respectivas, y al Jefe del Departamento de Mantenimiento y la Coordinadora de Gestión Ambiental de la empresa; tal como se muestra en la figura 54.

Figura 54. Capacitación del personal de mantenimiento.



8. ANÁLISIS FINANCIERO DEL PROYECTO

El análisis económico del proyecto permite determinar la relación costo/beneficio del plan de mantenimiento propuesto, desde el panorama financiero de la empresa, y marca un parámetro importante en la toma de decisiones administrativas de la misma.

La evaluación económica está dividida en dos partes; la primera consiste en analizar la viabilidad de continuar con la operación de las plantas PTAP y PTAR; y la segunda está orientada al estudio de los costos y la rentabilidad de la implementación del plan de mantenimiento propuesto.

Para realizar el análisis económico se debe partir de las cantidades respectivas de tratamiento de agua en cada una de las plantas, tal como se muestra en la tabla 29.

Tabla 29. Cantidad de agua tratada en cada planta.

TRATAMIENTO DE AGUA [m ³ /mes]	
PTAP	PTAR
21.000	24.000

8.1 VIABILIDAD DE CONTINUACIÓN OPERATIVA DE LAS PLANTAS PTAP Y PTAR.

Para realizar el análisis de la viabilidad de la continuación operativa de las plantas PTAP y PTAR, es necesario evaluar la alternativa que supliría el tratamiento de agua potable y tratamiento de aguas residuales, para dar continuidad a la misión y visión de Frigorífico Vijagual S.A.

La alternativa para suplir las necesidades de agua potable, y posterior tratamiento de las aguas residuales es la contratación de dichos servicios con la Empresa Municipal De Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Rionegro "EMSERVIR E.S.P".

La evaluación consiste en contrastar el costo de funcionamiento de las dos plantas con el valor de contratar los servicios de la empresa EMSERVIR E.S.P.; con el apoyo de la Coordinadora de Gestión Ambiental del Frigorífico Vijagual S.A. se agrupan los costos operativos de las plantas PTAP y PTAR, como se muestra en la tabla 30, además, teniendo como base la información de consumos de la tabla 29, y los costos por metro cúbico de agua a contratar con la empresa EMSERVIR E.S.P. se construye la tabla 31.

Tabla 30. Costos operativos de las plantas PTAP y PTAR.

COSTOS OPERATIVOS		
DESCRIPCIÓN	PTAP	PTAR
Recurso humano	\$ 6.200.000	\$ 6.200.000
Costos de tratamiento	\$ 2.100.000	\$ 23.000.000
Costo de mantenimiento	\$ 2.000.000	\$ 3.000.000
TOTAL	\$ 10.300.000	\$ 32.200.000

Tabla 31. Costos de contratar los servicios de la empresa EMSERVIR E.S.P.

COSTOS DEL SERVICIO EN EMSERVIR E.S.P.		
DESCRIPCIÓN	AGUA POTABLE	AGUAS RESIDUALES
Consumo [m ³ /mes]	21000	24000
Valor [COP \$/m ³]	\$ 1.600	\$ 1.800
TOTAL	\$ 33.600.000	\$ 43.200.000

La tabla 32 muestra el comparativo de costos de las dos alternativas, donde se puede evidenciar que operar las plantas PTAP y PTAR es más rentable para el Frigorífico Vijagual S.A., que contratar los servicios de una empresa externa. Esto se debe a que el manejo interno de las plantas representan un ahorro aproximado del 69% en costos de obtención de agua potable y un 25% en el tratamiento de aguas residuales, además, con su operación se garantiza el cumplimiento de las regulaciones ambientales y sanitarias de sus actividades operativas y administrativas, sin depender de terceros.

Tabla 32. Comparativo de los costos del servicio.

COMPARATIVO DEL COSTO DEL SERVICIO		
ENTIDAD	AGUA POTABLE	AGUAS RESIDUALES
FIGORÍFICO VIJAGUAL S.A.	\$ 10.300.000	\$ 32.200.000
EMSERVIR E.S.P.	\$ 33.600.000	\$ 43.200.000
AHORRO	69,3%	25,5%

8.2 EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN PROPUESTO.

Para desarrollar el análisis financiero de la implementación del plan para la gestión del mantenimiento basado en RCM suministrado, se procede a calcular y comparar los costos asociados al mantenimiento durante el tercer trimestre (julio, agosto y septiembre) de los años 2016 y 2017, respectivamente.

8.2.1 Costos de mantenimiento del año 2016. La tabla 33 muestra los gastos asociados al mantenimiento durante el tercer trimestre del año 2016; allí se puede apreciar la tendencia al alza de los costos de las actividades correctivas y el costo de los inventarios, lo cual se puede atribuir a fallas inesperadas en algunos equipos, así como los gastos de importación de algunos repuestos.

Tabla 33. Costos de mantenimiento de la PTAP y PTAR para los meses de julio-septiembre de 2016.

Gastos de mantenimiento tercer trimestre de 2016			
DESCRIPCIÓN	Julio	Agosto	Septiembre
Costo Mantenimiento Preventivo	\$ 1.200.000	\$ 1.300.000	\$ 1.200.000
Costo Mantenimiento Correctivo	\$ 2.800.000	\$ 3.100.000	\$ 3.500.000
Inventario de Repuestos	\$ 1.400.000	\$ 1.500.000	\$ 1.800.000
TOTAL	\$ 5.400.000	\$ 5.900.000	\$ 6.500.000

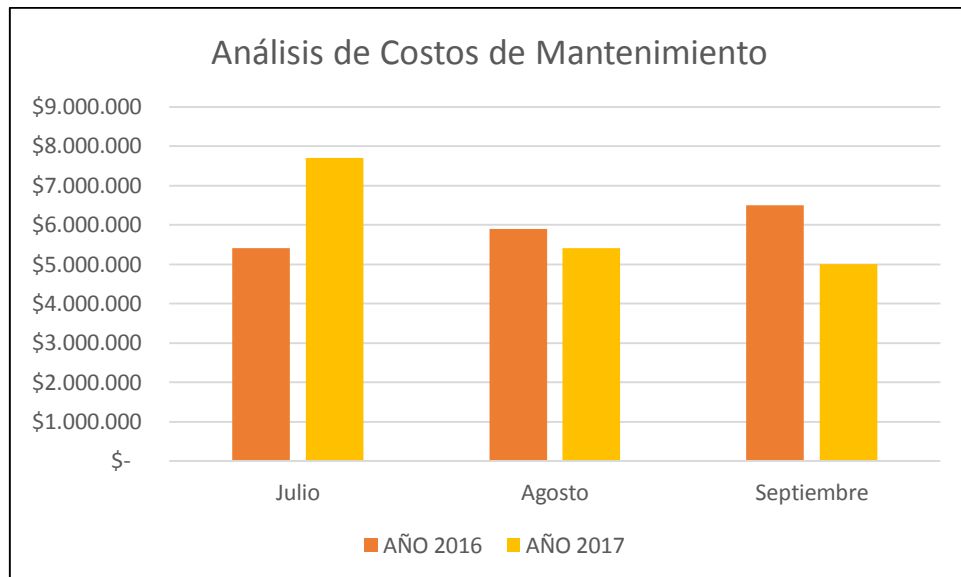
8.2.2 Costo de mantenimiento del año 2017. La tabla 34 muestra los gastos asociados al mantenimiento durante el tercer trimestre del año 2017, periodo en el cual se dio la implementación; allí se puede observar que los gastos en el mes de julio superan el promedio de los costos mensuales de mantenimiento, lo cual se debe a la adquisición del módulo de mantenimiento del software GÉMINUS.

Tabla 34. Costos de mantenimiento de la PTAP y PTAR para los meses de julio-septiembre de 2017.

Gastos de mantenimiento tercer trimestre de 2017			
DESCRIPCIÓN	Julio	Agosto	Septiembre
Costo Mantenimiento Preventivo	\$ 2.300.000	\$ 2.600.000	\$ 3.000.000
Costo Mantenimiento Correctivo	\$ 1.800.000	\$ 1.300.000	\$ 1.000.000
Servicios externos y stock mínimo	\$ 1.600.000	\$ 1.500.000	\$ 1.000.000
Módulo de Mantenimiento (software)	\$ 2.000.000	-	-
TOTAL	\$ 7.700.000	\$ 5.400.000	\$ 5.000.000

8.2.3 Análisis de costos. La figura 55 muestra en resumen el flujo presupuestal asociado con el mantenimiento en el periodo de evaluación; de allí se puede establecer que los costos de mantenimiento a partir de la implementación del plan de gestión presentan una tendencia negativa, lo cual se puede atribuir a la organización estructurada y metódica de las actividades y rutinas de mantenimiento, así como el aumento de las tareas de tipo preventivas.

Figura 55. Flujo presupuestal durante el periodo evaluado.



8.2.4 Análisis de la inversión. La tabla 35 muestra la inversión realizada para la implementación del plan de gestión de mantenimiento, donde se puede apreciar que el costo total invertido es de \$13.000.000 COP.

Tabla 35. Inversión para la implementación del plan de gestión propuesto.

Inversión para la implementación del Plan	
DESCRIPCIÓN	Costo
Sistema de información	\$ 2.000.000
Repuestos/Insumos	\$ 3.000.000
Servicios especializados	\$ 2.000.000
Asesoría profesional	\$ 4.000.000
Imprevistos/otros	\$ 2.000.000
TOTAL	\$ 13.000.000

Para determinar la conveniencia de la inversión, se calculan los siguientes indicadores de rentabilidad:

- Valor Actual Neto (V.A.N.), también conocido como Valor Presente Neto (V.P.N.) mide el aporte o excedente económico que queda de un proyecto, después de haber recuperado la inversión y el costo de oportunidad de los recursos, por tanto, si el V.A.N es mayor a cero, el proyecto se considera factible.
- Tasa Interna de Retorno (T.I.R.) representa la tasa de interés mediante la cual se iguala el valor actual de los ingresos con el valor actual de los egreso para la misma inversión. Representa la tasa de interés máxima que un inversor puede pagar, sin perder dinero, en éste orden de ideas, si la T.I.R. es mayor a la tasa de oportunidad escogida por la empresa, el proyecto se considera factible.
- Tiempo de Recuperación (T.R.) es el lapso de tiempo en el cual el valor actual de los egresos es recuperado a través del valor actual de los ingresos, a una tasa de interés determinada.
- Índice de rentabilidad (I.R.) mide la cantidad en que aumenta la inversión, en relación con cada unidad monetaria invertida.

Consideraciones para el análisis de la inversión:

- La empresa establece para el proyecto una tasa de oportunidad del 7%, con evaluación a doce meses (un año).
- Debido a la disminución de paradas imprevistas, reducción de mantenimientos correctivos no programados y aumento de la producción de lodos; se asigna como ahorro o retribución un promedio mensual de \$2.700.000 COP, dentro del periodo de evaluación.

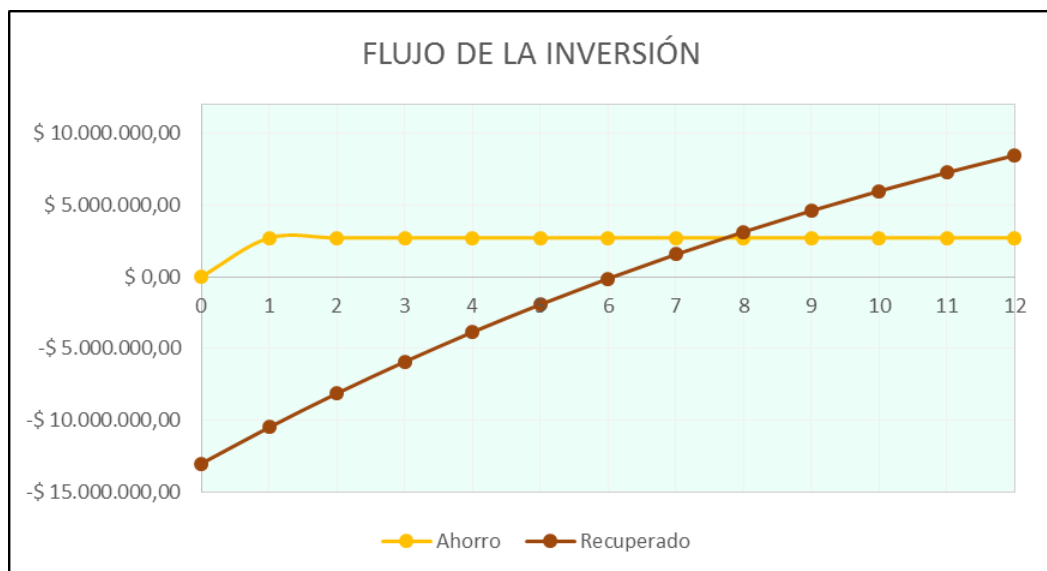
Con la información suministrada se procede al cálculo del plan de amortización de la inversión, así como de los indicadores, tal como se muestra en la tabla 36 y la figura 56; de las cuales podemos deducir que la empresa:

1. Recuperará la inversión en un lapso aproximado de seis meses.
2. Al cumplir un año de implementado el plan de gestión de mantenimiento propuesto, obtendrá como beneficio alrededor de \$ 8.500.000 COP, es decir, que por cada millón invertido, tuvo una ganancia adicional aproximada de \$ 650.000 COP.
3. Ya que la T.I.R. es mayor a la tasa de oportunidad de la empresa, el V.A.N es mayor a cero, y el I.R. es mayor al 100%, el proyecto es completamente viable con una recuperación económica de la inversión en un plazo aproximado de seis meses.

Tabla 36. Cálculos para el análisis de la inversión.

DATOS DE LA INVERSIÓN				
Capital invertido:	\$ 13.000.000,00	Tasa :	7,00%	
Ahorro mensual:	\$ 2.700.000,00	Meses :	12	
PLAN DE AMORTIZACIÓN				
Mes	Inversión	Ahorro	Valor Presente	Recuperado
0	-\$ 13.000.000,00	\$ 0,00	-\$ 13.000.000,00	-\$ 13.000.000,00
1		\$ 2.700.000,00	\$ 2.523.364,49	-\$ 10.476.635,51
2		\$ 2.700.000,00	\$ 2.358.284,57	-\$ 8.118.350,95
3		\$ 2.700.000,00	\$ 2.204.004,27	-\$ 5.914.346,68
4		\$ 2.700.000,00	\$ 2.059.817,07	-\$ 3.854.529,61
5		\$ 2.700.000,00	\$ 1.925.062,68	-\$ 1.929.466,92
6		\$ 2.700.000,00	\$ 1.799.124,00	-\$ 130.342,92
7		\$ 2.700.000,00	\$ 1.681.424,30	\$ 1.551.081,38
8		\$ 2.700.000,00	\$ 1.571.424,58	\$ 3.122.505,97
9		\$ 2.700.000,00	\$ 1.468.621,10	\$ 4.591.127,07
10		\$ 2.700.000,00	\$ 1.372.543,09	\$ 5.963.670,16
11		\$ 2.700.000,00	\$ 1.282.750,55	\$ 7.246.420,71
12		\$ 2.700.000,00	\$ 1.198.832,29	\$ 8.445.253,00
INDICADORES DE LA INVERSIÓN				
V.A.N.	\$ 8.445.253,00	Valor Actual Neto		
T.I.R.	19,70%	Tasa Interna de Retorno		
I.R.	164,96%	Índice de Rentabilidad		
T.R.	6,07	Tiempo de Recuperación		

Figura 56. Flujo de la inversión en el periodo evaluado.



9. CONCLUSIONES

La recolección de información de forma metódica y estructurada permitió listar y codificar los equipos que integran cada una de las plantas PTAP y PTAR, obteniendo un total de 36 equipos por planta; además, se establece un registro adecuado de las condiciones operativas y funcionales de dichos activos a través de la creación y diligenciamiento de las respectivas fichas técnicas, incidiendo en la facilidad para la aplicación y administración de las tareas de mantenimiento asociadas a cada equipo.

Al aplicar de forma meticulosa la metodología del análisis de criticidad por factores ponderados, se logra establecer que para el caso de la PTAP, el 86% de los equipos pertenecen a la categoría de no críticos, el 14% restante pertenecen a la categoría de medianamente críticos y no presenta ningún activo en la condición crítica; por el contrario, la PTAR refleja un 29% de equipos no críticos, 48% medianamente críticos, y el restante 23% críticos. En total, 8 equipos en estado crítico, 22 medianamente críticos, y 42 no críticos en las dos plantas; esto se atribuye a las condiciones operativas y funcionales de los activos de cada una de las plantas.

La búsqueda y actualización de la documentación para la gestión del mantenimiento de las plantas PTAP y PTAR, incluyó la creación de diversos formatos como fichas técnicas, hojas de vida de equipos, cronogramas de lubricación, entre otros; además se consolidó la información referente a catálogos y manuales de operación y mantenimiento del fabricante, de todos las máquinas que integran cada una de las plantas, esto facilita el reconocimiento de los activos y permiten agilizar y optimizar los procesos administrativos y operativos del Departamento de Mantenimiento.

Se creó para cada activo una etiqueta orientada a la integración de las tecnologías de la información, ya que contiene un código QR que al ser escaneado con un dispositivo móvil, muestra la ficha técnica del equipo, disminuyendo así el papeleo y facilitando las labores de mantenimiento por parte de los técnicos y personal involucrado en dichas actividades.

Para la atención de los equipos no críticos, se estableció una estrategia orientada al mantenimiento correctivo programado, respaldada con rutinas de inspección definidas y estructuradas; por otro lado, para los equipos medianamente críticos se fija una estrategia focalizada en actividades de tipo preventivas, las cuales están organizadas de manera periódica y con un tiempo estipulado para su ejecución, de modo que se logre llevar un control adecuado de los recursos financieros, de personal y de tiempo.

La creación de las hojas de decisión RCM, las cuales precisan las actividades de mantenimiento, la frecuencia y el personal encargado de su ejecución, se fundamenta en el análisis de modos y efectos de falla AMEF; dicha evaluación toma en cuenta las condiciones funcionales que inciden sobre la adecuada operación de los activos y permite definir la estrategia de mantenimiento de los equipos críticos.

La alimentación del sistema de información Géminus, comprendió la creación de locaciones, equipos y la inclusión de las actividades definidas para el mantenimiento de los equipos en los diferentes niveles de criticidad; esto con la finalidad de garantizar el registro y seguimiento a la gestión del mantenimiento.

La capacitación y socialización del plan de gestión de mantenimiento propuesto, que comprende la instrucción en el uso y manejo de los diferentes formatos desarrollados, las etiquetas y las actividades planteadas generan en los involucrados de mantenimiento el sentido de responsabilidad y compromiso para la ejecución de las rutinas y tareas, garantizando el cumplimiento de las mismas.

Al realizar el estudio de viabilidad de la implementación del plan de gestión propuesto, se encuentra que el proyecto no sólo complementa la gestión del Departamento de Mantenimiento, sino que además da valor a la empresa, generándole dividendos de aproximadamente \$ 8.500.000 COP al término de un año de haber realizado la inversión de \$ 13.000.000 COP en la implementación del plan propuesto, además, se estima que la inversión se recuperará alrededor del sexto mes, con un índice de rentabilidad de 165%.

10. RECOMENDACIONES

Crear un grupo interdisciplinario que cada año realice un análisis de la efectividad de las actividades contempladas en el plan de gestión propuesto, con miras a generar acciones de mejora que complementen o modifiquen las acciones propuestas, con base en las necesidades que con el tiempo se vayan presentando.

Diseñar un plan de formación integral de todo el personal involucrado con la gestión de mantenimiento, donde se trabaje en la temática de gestión documental, conocimientos técnicos de los equipos, reparaciones, entre otros; con el fin de motivar la identidad corporativa y aumentar el nivel de compromiso de los colaboradores del Departamento.

Realizar un informe o reunión semestral, donde se analice el estado general del mantenimiento, teniendo en cuenta temas como: actividades de mantenimiento ejecutadas (mantenimientos preventivos, correctivos, RCM, y demás), indicadores de mantenimiento (confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad), y presentarlos a los altos directivos, para mostrar los avances, mejoras y dificultades relacionadas con la ejecución y gestión del mantenimiento.

Al realizar las paradas de los equipos para mantenimientos correctivos (*overhaul*), además de atender los requerimientos en materia operativa, se realice limpieza y aplicación de pintura a los activos intervenidos; con el fin de disminuir los problemas de corrosión y mejorar el aspecto visual de los equipos.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR OTERO, José; TORRES ARCIQUE, Rocío y MAGAÑA JIMÉNEZ, Diana. Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. IMIQ, Tecnología, ciencia y educación. Enero – junio, 2010, vol. 25. no. 1. p. 15 – 26.

ANDRITZ SEPARATION INC. Manual de instrucciones Decantadora D5 LC30. Curitiba, Brasil: La compañía, 2009. 145 pp.

BORRAS PINILLA, Carlos. Ingeniería de mantenimiento: material docente. Bucaramanga, 2013. 281 p.

CÁMARA DE COMERCIO E INDUSTRIA DE ZARAGOZA. [Sitio web]. ¿Qué es un código QR? Zaragoza: La Cámara. [Consultado el: 15 de agosto de 2017]. Disponible en: <https://www.camarazaragoza.com/faq/que-es-un-codigo-qr/>.

FRIGORÍFICO VIJAGUAL S.A. Sistema de gestión de la calidad. Bucaramanga: La Compañía, 2015.

_____. Sistema de gestión ambiental. Bucaramanga: La Compañía, 2015.

GÉMINUS SOFTWARE DE COLOMBIA S.A.S. [sitio web]. Información de la compañía. Pereira: La compañía. [Consultado el: 10 de octubre de 2017]. Disponible en: <http://web.geminus.com.co/es/>

HUERTA, Rosendo. El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional. Revista Club de Mantenimiento. [En línea]. 2001, vol. 2, nro. 6. pp. 12-17. [Consultado el: 08 de junio de 2017]. Disponible en: http://www.clubdemantenimiento.com/revistas_boletines/revista_mantener_06.pdf

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Bogotá D.C.: El Instituto, 2008. 41 p.

_____. Referencias bibliográficas. Contenido, forma y estructura. NTC 6166. Bogotá D.C.: El Instituto, 2016.

MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en Español. Leicester: Aladon Ltd, 2004. 433 p. ISBN 09539603-2-3.

MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento: planeación, ejecución y control. México: Alfaomega grupo editorial, 2009. p 86.

PARRA, Carlos y CRESPO, Adolfo. Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos. Sevilla: INGEMAN, 2012, pp. 57 – 65. ISBN: 978-84-95499-67-7.

PETRÓLEOS MEXICANOS. Guía de aprendizaje: metodología análisis de criticidad. [En línea]. [Consultado en marzo de 2017]. Disponible en: http://aprendizajevirtual.pemex.com/nuevo/guias_pdf/Guia_SCO_Analisis_Criticidad.pdf

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. SAE JA1011: 2009. Washington: SAE, 2009. 12 p.

SILVA ARDILA, Pedro. Confiabilidad en la práctica. Barranquilla: El autor, 2014. 155 p.

VARGAS CORTES, Diego. Programa de mantenimiento preventivo para El Frigorífico Vijagual S.A. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Escuela de ingeniería mecánica, 2003.