

# **DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO PARA UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

(Autor)

**ARLEY MAURICIO PERILLA ROMERO**

**PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA,  
MECATRONICA E INDUSTRIAL  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
PAMPLONA, mayo 29 del 2018**

# **DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO PARA UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

(Autor)

**ARLEY MAURICIO PERILLA ROMERO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
INGENIERO MECÁNICO**

(Director)

**WILLIAM JAVIER MORA ESPINOSA**

MSc. Ing Mecánico

**PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA,  
MECATRONICA E INDUSTRIAL  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
PAMPLONA, mayo 29 del 2018**

## *Dedicatoria por Arley Perilla*

A Dios padre por darme la licencia de culminar mis estudios a pesar de las adversidades.

A mis padres Emilio Perilla y María Romero por su lucha constante, apoyo incondicional, y esos sacrificios que solo ellos pueden hacer por ver a su hijo realizar una de las tantas metas propuestas.

A mis hermanos "Marcela", "Yimer" y "Lida" por los buenos momentos llenos de alegría, por esa compañía en las buenas e inesperadas situaciones que hemos vivido juntos.

A mi familia en general, tíos (as), primos (as) , amigos (as), por sus voces de ánimo, por siempre estar conmigo, hoy puedo decirles que no los defraude.

## **AGRADECIMIENTOS**

A papito Dios y a la virgen santísima por permitirme culminar esta etapa de mi vida e iniciar una nueva llena de bendiciones.

Agradecer a mi director de proyecto MSc. William Mora Espinosa por su apoyo y aporte de conocimientos y experiencia.

De igual manera agradecerle a mi codirector Ing. Diego Gonzales Roa por su disposición y colaboración en el desarrollo de mi pasantía.

A la alcaldía de Nunchía en cabeza del señor Fredy Higuera Márquez por darme la oportunidad de realizar mi práctica empresarial en la unidad de servicios públicos del municipio.

Quiero expresar mis mas sinceros agradecimientos a Marcela Perilla Romero y Yeison Estepa Roa, por sus consejos diarios, por el respaldo incondicional y por ese calor de hogar que siempre me han brindado.

A la universidad de pamplona por aportarme los conocimientos necesarios para llevar a cabo la realización de este proyecto

## TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCION .....	15
2.	JUSTIFICACION.....	16
3.	OBJETIVOS .....	17
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	17
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
4.	ESTADO ACUAL.....	18
4.1	MANTENIMIENTO .....	18
4.2	EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO .....	19
4.3	TIPOS DE MANTENIMIENTO .....	20
4.3.1	Correctivo .....	20
4.3.2	Preventivo .....	21
4.3.3	Programado.....	22
4.3.4	Predictivo.....	22
4.4	ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA.....	23
4.4.1	Tipos de (AMEF) .....	24
4.4.2	Procedimiento para realizar el AMEF de un equipo .....	24
4.4.2.1	<i>Desarrollar un mapa del proceso.....</i>	25
4.4.2.2	<i>Formar un equipo de trabajo.....</i>	25
4.4.2.3	<i>Determinar los pasos críticos del proceso.....</i>	25
4.4.2.4	<i>Determinar las fallas potenciales de cada paso, determinar sus efectos y evaluar su severidad.....</i>	26
4.4.2.5	<i>Indicar las causas de cada falla y evaluar la ocurrencia de las fallas....</i>	27
4.4.2.6	<i>Indicar los controles (medidas de detección) que se tienen para detectar fallas y evaluarlas.....</i>	27
4.4.2.7	<i>Obtener el número de prioridad de riesgo falla y tomar decisiones .....</i>	29
4.4.2.8	<i>Recomendar acciones preventivas, correctivas o de mejora .....</i>	29
4.5	LA ALCALDIA DE NUNCHÍA .....	29
4.5.1	Misión.....	30
4.5.2	Visión .....	30
4.5.3	Objetivos institucionales .....	30
4.5.3	Organigrama.....	31
4.5.4	Ubicación.....	31

4.6	PLANTA DETRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) .....	32
4.6.1	Sopladores 68-urai .....	33
4.6.2	Motor eléctrico siemens 20hp .....	34
4.6.3	Compresor Sargo.....	35
4.6.4	Bomba electro sumergible Pedrollo.....	35
4.6.5	Generador Perkins 30 kw .....	36
4.6.6	Bomba electro sumergible Barnes .....	37
4.6.7	Bomba dosificadora Pulsatron .....	38
5.	METODOLOGÍA.....	40
5.1	BÚSQUEDA DE REGISTROS EXISTENTES EN LA EMPRESA .....	40
5.2	BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN EXTERNA.....	42
5.3	IDENTIFICAR FALLAS RECURRENTES EN EQUIPOS.....	45
5.4	APLICACIÓN DE ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (AMEF).....	46
5.4.1	Evaluación del formato de AMEF para cada tipo de equipos .....	46
5.4.1.1	<i>Evaluación de AMEF para Sopladores.....</i>	47
5.4.1.2	<i>Evaluación de AMEF para motores eléctricos.....</i>	48
5.4.1.3	<i>Evaluación de AMEF para bombas sumergibles.....</i>	49
5.4.1.4	<i>Evaluación de AMEF para compresor.....</i>	50
5.4.1.5	<i>Evaluación de AMEF para Generador .....</i>	51
5.4.1.6	<i>Evaluación de AMEF para bomba dosificadora.....</i>	52
5.5	ELABORACIÓN DE FORMATOS Y HOJAS DE VIDA.....	53
5.5.1	Codificación de los equipos.....	53
5.5.1.1	<i>Codificación del tipo de maquinaria.....</i>	54
5.5.1.2	<i>Codificación de la marca .....</i>	54
5.5.1.3	<i>Número de equipo.....</i>	55
5.5.2	Diseño y elaboración de formatos .....	55
5.5.2.1	<i>Formato de registro de maquinaria.....</i>	56
5.5.2.2	<i>Formato de componentes principales .....</i>	57
5.5.2.3	<i>Formato orden de trabajo (ODT).....</i>	58
5.5.2.4	<i>Solicitud de servicio.....</i>	60
5.5.2.5	<i>Informe de avería.....</i>	61
5.5.2.6	<i>Formato control de horas .....</i>	62
5.5.2.7	<i>Formato Lista de chequeo.....</i>	63

5.6	DISEÑO DEL CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO .....	63
5.6.1	Programación de mantenimiento semestral .....	64
5.6.2	Programación del mantenimiento basado en horas de servicio.....	65
5.7	SOCIALIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO EN PLANTA.....	66
5.7.1	Certificado socialización del plan de mantenimiento .....	66
5.7.2	Lista de asistencia a socialización del proyecto .....	67
5.7.3	Registro fotográfico de la socialización del proyecto.....	68
5.7.4	Registro fotográfico segunda etapa de la socialización. ....	69
6.	CERTIFICADOS DE CULMINACIÓN .....	70
6.1	CERTIFICADO CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS .....	70
6.2	ACTA DE CULMINACIÓN .....	71
7.	RESULTADOS .....	72
8.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	73
9.	CONCLUSIONES .....	74
10.	RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS .....	75
11.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	76
12.	ANEXOS .....	77
12.1	ANEXO 1. SOPLADOR SOP-RAI-001 .....	77
12.2	ANEXO 2. SOPLADOR SOP-RAI-002 .....	77
12.3	ANEXO 3. MOTOR MOT-SIE-001 .....	77
12.4	ANEXO 4. MOTOR MOT-SIE-002 .....	77
12.5	ANEXO 5. BOMBA BOM-BAR-001 .....	77
12.6	ANEXO 6. BOMBA BOM-BAR-002 .....	77
12.7	ANEXO 7. BOMBA BOM-PED-001.....	77
12.8	ANEXO 8. GENERADOR GEN-PER-001 .....	77
12.9	ANEXO 9. COMPRESOR COM-SAR-001.....	77
12.10	ANEXO 10. BOMBA BOM-PUL-001.....	77

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1. Grado de severidad.....</b>	<b>26</b>
<b>Tabla 2. Grado de ocurrencia.....</b>	<b>27</b>
<b>Tabla 3. Grado de detección .....</b>	<b>28</b>
<b>Tabla 4. Equipos de la planta de tratamiento de aguas residuales .....</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 5. Estado actual de los equipos .....</b>	<b>41</b>
<b>Tabla 6. Algunos modos de falla de las bombas Pulsatron .....</b>	<b>43</b>
<b>Tabla 7. Fallas recurrentes de los equipos del sistema.....</b>	<b>46</b>
<b>Tabla 8. Evaluación de AMEF para Sopladores .....</b>	<b>47</b>
<b>Tabla 9. Evaluación de AMEF para motores eléctricos .....</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 10. Evaluación de AMEF para bombas sumergibles .....</b>	<b>49</b>
<b>Tabla 11. Evaluación de AMEF para compresor .....</b>	<b>50</b>
<b>Tabla 12. Evaluación de AMEF para Generador.....</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 13. Evaluación de AMEF para Bomba dosificadora .....</b>	<b>52</b>
<b>Tabla 14. Codificación del tipo de maquina.....</b>	<b>54</b>
<b>Tabla 15. Codificación de la marca.....</b>	<b>54</b>
<b>Tabla 16. Codificación de cada equipo .....</b>	<b>55</b>
<b>Tabla 17. Programa de mantenimiento semestral.....</b>	<b>64</b>
<b>Tabla 18. Cronograma de actividades basado en horas de servicio .....</b>	<b>65</b>



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1. Alcaldía de Nunchía</b> .....	29
<b>Figura 2. Organigrama alcaldía de Nunchía</b> .....	31
<b>Figura 3. Ubicación de Nunchía</b> .....	31
<b>Figura 4. Soplador 68-URAI</b> .....	34
<b>Figura 5. Motor eléctrico siemens</b> .....	34
<b>Figura 6. Compresor Sargo 5HP</b> .....	35
<b>Figura 7. Bomba sumergible de lodos</b> .....	36
<b>Figura 8. Generador Perkins 30 KW</b> .....	37
<b>Figura 9. Bomba sumergible Barnes</b> .....	38
<b>Figura 10. Bomba dosificadora de cloro</b> .....	39
<b>Figura 11. Puntos de lubricación según orientación del soplador</b> .....	44
<b>Figura 12. Despiece de un motor siemens</b> .....	45
<b>Figura 13. Sistema de codificación</b> .....	53
<b>Figura 14. Formato registro de maquinaria</b> .....	56
<b>Figura 15. Formato componentes principales</b> .....	57
<b>Figura 16. Formato orden de trabajo (ODT)</b> .....	59
<b>Figura 17. Formato Solicitud de servicio</b> .....	60
<b>Figura 18. Formato informe de avería</b> .....	61
<b>Figura 19. Formato de control de horas</b> .....	62
<b>Figura 20. Formato lista de chequeo</b> .....	63
<b>Figura 21. Certificado de la Socialización</b> .....	66
<b>Figura 22. Lista de asistencia a socialización</b> .....	67
<b>Figura 23. Registro fotográfico de socialización del proyecto</b> .....	68
<b>Figura 24. Registro fotográfico de socialización en planta</b> .....	69
<b>Figura 25. Certificado cumplimiento objetivos</b> .....	70
<b>Figura 26. Acta de culminación de pasantía</b> .....	71

# DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO PARA UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Perilla Arley

*<sup>a,b</sup>Pamplona University, Km 1 Via B/manga, Pamplona, Colombia*

---

## Resumen

Como trabajo de pasantía empresarial en el Municipio de Nunchía Casanare, se diseñó un plan de mantenimiento programado para los equipos de la planta de tratamiento de aguas residuales, dado que esta empresa no contaba con ningún tipo de programación o pautas en la intervención de equipos, lo que los obligó a realizar reparaciones de emergencia, generando gastos adicionales en el mantenimiento de la planta. Para la elaboración de este plan de mantenimiento, se siguieron las etapas de: búsqueda de información del estado de los equipos, identificación de fallas recurrentes, aplicación del análisis del modo y efecto de falla, diseño y elaboración de formatos de registro y control de mantenimiento; y finalmente, planeación de actividades de mantenimiento basado en AMEF realizado en el campo. Como resultado de este proyecto la planta de tratamiento de aguas residuales cuenta con un plan de mantenimiento programado que define las fechas y actividades que se llevarán a cabo en cada máquina para el buen mantenimiento de las mismas.

Palabras clave: AMEF; mantenimiento programado; gastos.

---

## Abstract

As a business internship work in the Municipality of Nunchía Casanare, a scheduled maintenance plan was designed for the equipment of the wastewater treatment plant, given that this company did not have any type of programming or guidelines in the intervention of equipment, which forced them to carry out emergency repairs, generating additional expenses in the maintenance of the plant. For the elaboration of this maintenance plan, the following stages were followed: search for information on the status of the equipment, identification of recurring faults, application of the analysis of the mode and effect of failure, design and preparation of record formats and maintenance control ; and finally, planning of maintenance activities based on FMEA carried out in the field. As a result of this project, the wastewater treatment plant has a scheduled maintenance plan that defines the dates and activities that will be carried out on each machine for the proper maintenance of the same.

Keywords: FMEA; scheduled maintenance; expense

---

## 1. Introducción

Con el desplazamiento de la población hacia los centros urbanos se vio un aumento en la demanda de bienes y servicios que no podían ser satisfechos con la infraestructura tecnológica existente, dando paso a la invención de sistemas mecánicos, que día a día fueron mejorando hasta convertirse en máquinas más complejas llegando así a satisfacer la demanda. Al haber maquinas surgió la necesidad de aplicar planes de mantenimiento con el fin de garantizar su funcionalidad y buen estado a través del tiempo (Gutiérrez, 2009).

Con el fin de eliminar residuos de las necesidades del ser humano, en las ciudades se construyó una red para el transporte de desechos generados en el hogar, estos por su composición microbiana no

pueden ser vertidos directamente a las fuentes hídricas, obligando así a la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales. Las cuales requieren de máquinas y componentes como son bombas, válvulas, filtros, generadores, compresores, etc.

Para este caso se realizará un plan de mantenimiento programado para la planta de tratamiento de agua residual del casco urbano del municipio de Nunchía. Esto con el fin de garantizar la correcta funcionalidad de las instalaciones, logrando una buena prestación del servicio. Para la elaboración de este plan de mantenimiento se hará un seguimiento a los equipos que intervienen en el proceso, evaluando su estado actual, posibles causa y consecuencias de fallas; evitando a futuro las paradas no programadas.

## 2. Experimental

Este proyecto se desarrolló siguiendo las actividades propuestas para dar cumplimiento a los objetivos y así colaborar con la comunidad del municipio.

A continuación, se describen las actividades principales que se ejecutaron en el diseño y elaboración de este plan de mantenimiento.

### 2.1. Búsqueda de registros existentes en la empresa.

En esta etapa del proyecto se contó con la ayuda y apoyo directo del personal de almacén y archivo de la alcaldía municipal en la recopilación de documentos, facturas, contratos, convenios y demás soportes que nos ayuden a conocer el comportamiento de los equipos desde su instalación y puesta en marcha hasta la actualidad.

Inicialmente con el apoyo del encargado de la oficina de archivo municipal, se buscó en documentos físicos de años anteriores, pero estos al ser guardados en cajas y almacenados en una bodega se han deteriorado por la humedad. Luego de una revisión minuciosa, se obtuvieron tres (3) contratos: CONTRATO DE SUMINISTROS No. 0114-14-01-XXXX DE 2012, CONTRATO DE OBRA PUBLICA No. 0114-14-01-XXX DE 2013 y CONTRATO DE COMPRAVENTA No.0114-14-01-XXX DE 2015, que contienen algunas compras de equipos y ordenes de servicio que se relacionan en una tabla de la siguiente manera:

EQUIPO	HISTORIAL ENCONTRADO
SOPLADORES 68 U-RAI	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Instalación de sopladores (19/09/2002).</li> <li>✓ Optimización de blower por valor COP 1.200.000.00 (03/10/2014).</li> <li>✓ Suministro arrancador suave de 20 HP de potencia para soplador con instalación por valor COP 3.800.000.00 (03/10/2014).</li> </ul>
MOTORES ELECTRICOS SIEMENS	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Instalación de motores (19/09/2002).</li> <li>✓ Suministro de cable de alimentación 4x6 de motor de 20Hp soplador por valor COP 431.034.00 (03/10/2014).</li> <li>✓ Cambio bornera 2 motores siemens 20HP para sopladores por valor de COP 4.500.00.00 (03/10/2014)</li> <li>✓ Suministro motor eléctrico 20 HP Weg por valor COP 2.800.000.00 (03/10/2014).</li> </ul>

Figura 1. Estado actual de los equipos

### 2.2 Identificar fallas recurrentes en los equipos

Con la información encontrada en la fase anterior donde se describen algunas adquisiciones de equipos e intervenciones a otros, y entrevistas al operador de la planta, (aproximadamente 5 años operando), encontramos fallas que se repiten conforme avanza el tiempo y que han afectado el proceso de manera parcial o total. En ocasiones, por la gravedad de la falla que requiere dar de baja al equipo afectado. También se revisó la información encontrada en los catálogos de algunos proveedores, extrayendo datos sobre posibles daños e intervenciones que requiere el equipo bajo condiciones normales de servicio. Esta información y análisis realizado se encuentra en la siguiente tabla:

EQUIPO	FALLAS RECURRENTES
Sopladores U-RAI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdida de tensión exagerada en correas</li> <li>• Recalentamiento general del equipo</li> <li>• Vibración excesiva del equipo</li> </ul>
Motores eléctricos Siemens	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conexión de cables sulfatada</li> <li>• Borneras sobrecalentadas y se queman</li> <li>• Altas vibraciones en el equipo</li> <li>• Recalentamiento en rodamientos</li> </ul>
Compresor Sargo 5HP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daño de válvula reguladora</li> <li>• Fuga aceite en unidad de compresión</li> </ul>

Figura 2. Fallas recurrentes de los equipos

### 2.3 Aplicación del análisis de modo y efecto de falla (AMEF)

A continuación, se realiza una evaluación mediante la herramienta análisis de modo y efecto de falla a cada máquina en la planta. Debido a la falta de equipos vacantes o de remplazo se hace necesario un funcionamiento continuo en cada proceso de la (PTAR).

Se evaluó cada equipo siguiendo los pasos remendados para la realización del AMEF, obteniendo así cada uno de los modos de falla relevantes, realizando el cálculo del NPR y generando las recomendaciones para cada caso como se muestra en la figura. Una vez generadas las actividades, queda en manos de la unidad de servicios públicos la gestión y cumplimiento de estas actividades propuestas.

AMEF DE:		AMEF SOPLADORE		
<input type="checkbox"/> Sistema <input checked="" type="checkbox"/> Equipo		ANÁLISIS DE MODO		
Proveedor afectado		Descripción		
Descripción del Equipo		Función del Equipo	Modo de Falla	Efecto de la Falla
Soplador de desplazamiento positivo		Suministro de oxígeno disuelto en aire para mantener vivas las bacterias que descomponen la materia orgánica	Correas destacionadas	perdida de eficiencia del equipo, ruido y mayor desgaste de las correas
			obstrucción de filtro de succión	sobrecarga en el equipo
			falla de rodamientos	recalentamiento, vibraciones, parada de equipo
			desgaste de engranajes	ruido e excesivo, recalentamiento, vibraciones
			Causa de la Falla	desalineamiento, desgaste en correas
				calidad baja del aire, contiene insectos
				falta ó exceso de lubricación, correas muy tensionadas
				sobre carga, mala lubricación, aceite contaminado

Y EFECTO DE FALLA						Gerencia: ALCALDE	
FECHA DE REVISION						Departamento: UNIDAD DE SERVICIOS PUBLICOS	
10/ DE ABRIL / DEL 2018							
Situación Actual						Acciones recomendadas	Responsable
Acciones Actuales	D C U R	S E V E	D E T E	NPR			
cambiar correa cuando falle	7	4	5	140	revisión de tensión semanal, desgaste y alineación cada 500 horas	Técnico mecánico, Operario	
cambiar a falla	6	5	8	240	cambio de filtro cada 1000 horas	Operario	
cambiar a falla	5	7	6	210	Inspección, revisión visual y engrase semanal	Técnico mecánico, Operario	
cambiar cuando falle	4	7	8	224	Inspección diaria del nivel de aceite y cambiarlo cada 2000 horas	Técnico mecánico, Operario	

Figura 3. AMEF ejemplo

## 2.4 Elaboración de formatos

En esta etapa del proyecto se elaboraron los formatos necesarios para la implementación del plan de mantenimiento programado, que a su vez sirven para la creación de las hojas de vida de la maquinaria.

Para la elaboración de formatos, identificación de los equipos y puesta en marcha del plan de mantenimiento es necesaria la codificación de equipos.

## 2.5 Codificación de equipos

Dentro de todo proceso o empresa que maneje equipos es de vital importancia una buena codificación que nos ayude a identificar de manera rápida un equipo, la ubicación y a que etapa del proceso pertenece, esto se hace con la asignación de valores alfanuméricos que permiten incluir mayor información sin requerir descripciones extensas.

Para el caso de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Nunchía se discutió este tema con el operador, y se llegó a un acuerdo mutuo creando una codificación sencilla y de fácil de entender, como se muestra en la tabla.

EQUIPO	SERIAL/MODELO	CODIGO
SOPLADOR U-RAI	68 U-RAI	SOP-RAI-001
SOPLADOR U-RAI	68 U-RAI	SOP-RAI-002
MOTOR ELECTRICO SIEMENS	11A7 164-4YA70	MOT-SIE-001
MOTOR ELECTRICO SIEMENS	11A7 164-4YA70	MOT-SIE-002
COMPRESOR SARGO	1122415	COM-SAR-001
GENERADOR PERKINS 30KW	137626/1	GEN-PER-001
BOMBA SUMERGIBLE LODOS	CD8C2080326	BOM-PED-001
BOMBA SUMERGIBLE AGUAS NEGRAS	1712291044	BOM-BAR-001
BOMBA SUMERGIBLE AGUAS NEGRAS	1712291044	BOM-BAR-002
BOMBA DIFICICADORA DE CLORO	C	BOM-PUL-001

Figura 4. Codificación de equipos

## 2.6 Diseño y elaboración de formatos

Es necesario para las empresas el tener historial y soporte de actividades realizadas en sus equipos para analizar el comportamiento a través del tiempo y tomar buenas decisiones a la hora de intervenir una máquina. Este historial se divide en dos tipos de formatos, los básicos y los de mantenimiento. Los básicos son los que se llenan una vez y generalmente son el registro de máquina y ficha técnica o despiece de la misma, y los de mantenimiento donde se registra actividades rutinarias o intervenciones a las maquinas lo que nos sirve como referencia para la toma de decisiones sobre un equipo específico, entre los cuales tenemos solicitud de servicio, reporte avería, listas de chequeo entre otras.

## 2.7 Diseño de cronograma de actividades de mantenimiento

Teniendo en cuenta los modos de falla encontrados en los catálogos del fabricante y los resultados del análisis de modo y efecto de falla (AMEF) realizado en campo se establece el siguiente cronograma de actividades de mantenimiento las cuales contemplan revisión, cambio y/o remplazo.

Para esta etapa del proyecto se crearon dos cronogramas de actividades, uno semestral y otro cronograma de actividades basado en horas de servicio de la maquina ver figuras seis (6) y siete (7) respectivamente:


PROGRAMACION DE MANTENIMIENTO SEMESTRAL							
							
EQUIPO	ACTIVIDAD	ASIGNADO	TIPO	MES1			
				1	2	3	4
COMPRESOR SARGO DE 5HP	Revisión visual fugas de aceite	OP	R				
	Purgar el sistema	OP	P				
	Revisar nivel de aceite	OP	R				
	Revisar tensión de correas	OP	R				
SOPLADORES 68 U-RAI	Inspección de vibraciones	OP	I				
	Verificar puntos calientes	OP	R				
GENERADOR	Purgar trampas de combustible						
SOPLADORES 68 U-RAI	Revisar alineación correas	TEM	C				
	Engrase y revisión	OP	R				
BOMBA CLORO	Limpieza filtro succión cloro	OP	L				
	Agregar actividad						
	Agregar actividad						
	Agregar actividad						

Figura 6. Programación del mantenimiento semestral

PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO BASADO EN HORAS DE SERVICIO				
EFECTUE LA RESPECTIVA ACTIVIDAD A CADA INTERVALO DE HORAS DE FUNCIONAMIENTO			250 H DE SERVICIO	500 H DE SERVICIO
EQUIPO	ELEMENTO	ACTIVIDAD		
BOMBA DOCIFICADORA DE CLORO	CHEQUES	CAMBIAR		
	DIAFRAGMA	CAMBIAR		
	EMPAQUES	CAMBIAR		
	RODADURAS	CAMBIAR		
	FILTRO COMBUSTIBLE	CAMBIAR	•	
GENERADOR PERKINS 30 KW	FILTRO DE AIRE	CAMBIAR	•	
	FILTRO DE ACEITE	CAMBIAR	•	
	ACEITE DE MOTOR	REEMPLAZAR	•	
	REFRIGERANTE	REEMPLAZAR		•
	VALV/INYECTORES	CALIBRAR		

Figura 7. Programación basado en horas de servicio

## 2.8 Socialización del plan de mantenimiento en planta

Para dar cumplimiento a esta etapa del proyecto se realizó charla de socialización del plan de mantenimiento al operador de la planta en donde se capacitó al señor Edgar Rodríguez. Se hizo énfasis en la importancia de un plan de mantenimiento para la planta y los lineamientos que se deben seguir para dar total cumplimiento de las actividades propuestas, el conocimiento y ventajas de la codificación de los equipos, importancia y uso de los formatos básicos y de mantenimiento, y cuando usar cada uno de ellos.

## 3. Resultados

Se diseñó plan de mantenimiento programado para los equipos de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Nunchía, mediante cronograma de actividades donde se definen fechas de intervención y tareas a realizar sobre los equipos.

Con la aplicación del análisis de modo y efecto de falla a cada tipo de maquinaria existente en la planta, se identificaron los posibles modos de falla, se calculó el número de prioridad de riesgo(NPR) y se sugirió actividades para la disminución del mismo.

Se socializo plan de mantenimiento al operador de la planta con la aprobación de la administración municipal en nombre del secretario de planeación y obras públicas del municipio.

Se diseñaron formatos básicos y de mantenimiento según la información requerida para los equipos encontrados, sus recursos y valoraciones.

## 4. Discusión

El plan elaborado es un avance para la optimización de recursos por parte de la unidad de servicios públicos, porque permitirá a corto plazo reducir costos por servicios extra generados por paradas de emergencia y podrá proyectar sus recursos en la compra previa de repuestos y pago de mano de obra dentro de las fechas establecidas en el cronograma.

El análisis de modo y efecto de falla realizado a los equipos de la planta permite identificar los siguientes modos de falla con un numero de prioridad de riesgo mayor a 200: falla en rodamientos de los motores eléctricos, cortocircuito en el bobinado y falla en rodamientos de las bombas sumergibles, obstrucción del filtro de succión, falla en engranajes y rodamientos en los sopladores; agua en líneas de servicio y desgaste de engranajes en el compresor, recalentamiento del motor, obstrucción de inyectores y filtro de aire del generador. A partir de estos modos de falla se enfocaron las tareas de mantenimiento para lograr la disminución del NPR.

Con la socialización del plan de mantenimiento se garantizó la claridad en la codificación de los equipos, el uso correcto de los formatos y el

cumplimiento de cada una de las actividades propuestas en el cronograma de actividades.

La creación de los formatos para el registro y soportes de mantenimiento permite actualmente llevar historial del comportamiento de los equipos complementando las hojas de vida de cada máquina, siendo el soporte para la toma de decisiones acertadas o la implementación de avanzados planes de mantenimiento.

## 5. Conclusiones

La inexistencia de registros e historial de los equipos representa un reto para el diseño de programas de mantenimiento, hoy en día la planta de tratamiento de aguas residuales cuenta con los formatos suficientes para llevar control y registro de estas actividades y facilitar la toma de decisiones en futuros y avanzados programas de mantenimiento.

La inversión económica y deterioro de los equipos que puede generar el no tener un programa de mantenimiento definido en una planta de tratamiento de aguas residuales conlleva a que su operación deje de ser sostenible para las entidades administrativas generando gastos excesivos de funcionamiento y finalmente el cierre definitivo.

Cabe resaltar que a nivel personal la experiencia de la práctica empresarial fue muy enriquecedora, y los conceptos aprendidos en el proceso de formación fueron aplicados de la mejor manera, llevando el proyecto a feliz término.

## 6. Referencias

- ALCALDÍA DE NUNCHÍA. (2017). PROGRESO PARA NUNCHÍA. Obtenido de <http://www.nunchia-casanare.gov.co/Paginas/default.aspx>
- Alvarez, R. (2010). Ingeniería de Mantenimiento. Obtenido de <http://ingenierademantenimiento.blogspot.com.co>
- BARNES. (2018). Bombas Aguas Residuales NE. Obtenido de <http://www.barnes.com.co/aguas-residuales-ne/>
- Chaparro, F. (29 de agosto de 2017). MOBIUS. Obtenido de <http://mobius.net.co/que-es-una-ptar/>
- CPS GENERATORS, .. (2018). Constant Power Solutions Ltd. Obtenido de <http://www.cps-generators.com>
- Garrido, S. G. (2003). ORGANIZACIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DEL MANTENIMIENTO.
- Gutiérrez, A. M. (2009). MANTENIMIENTO, Planeación, ejecución y control.
- Holguín, D. M. (2017). Comparación de metodologías para la gestión. Revista Ciencias Estratégicas, 319-338.
- Kaeser, J. (1 de Abril de 2017). SIEMENS. Obtenido de <https://www.siemens.com/global/en/home.html>
- López, B. S. (2016). INGENIRIA INDUSTRIALONLINE. Obtenido de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com>
- Nieto. (2009). Historia y evolución del mantenimiento. TPMONLINE.
- Palencia, O. G. (2014). En O. Garcia, Gestión Moderna Del Mantenimiento Industrial.
- Pedrollo, S. (2015). PEDROLLO. Obtenido de <https://www.pedrollo.com.co>
- PULSAFEEDER. (2018). Bombas Dosificadoras Electrónicas. Obtenido de [pulsatron.salesmrc.com](https://www.pulsatron.salesmrc.com)
- Quintero, N. A. (2017). LUBRICACIÓN Y MANTENIMIENTO INDUSTRIAL. REVISTA DIGITAL LATINOAMERICANA.
- Ramirez, I. (2012). Ventajas y desventajas del mantenimiento predictivo. kurodabombas.
- SOLUTIONS, L. (2017). AMEF, Análisis De Modo Y Efecto De La Falla. Obtenido de <http://www.leansolutions.co/conceptos/amef/>
- Universal-RAI. (2017). pdblowers, Inc. Obtenido de <https://www.pdblowers.com/product/68-roots-urair-blower/>

## 1. INTRODUCCION

Con el desplazamiento de la población hacia los centros urbanos se vio un aumento en la demanda de bienes y servicios que no podían ser satisfechos con la infraestructura tecnológica existente, dando paso a la invención de sistemas mecánicos, que día a día fueron mejorando hasta convertirse en máquinas más complejas llegando así a satisfacer la demanda. Al haber maquinas surgió la necesidad de aplicar planes de mantenimiento con el fin de garantizar su funcionalidad y buen estado a través del tiempo (Gutiérrez, 2009).

Para eliminar residuos de las necesidades del ser humano, en las ciudades se construyó una red para el transporte de desechos generados en el hogar, estos por su composición microbiana no pueden ser vertidos directamente a las fuentes hídricas, obligando así a la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales. Las cuales requieren de máquinas y componentes como son bombas, válvulas, filtros, generadores, compresores, etc.

El objeto de este proyecto es realizar un plan de mantenimiento programado para la planta de tratamiento de agua residual del casco urbano del municipio de Nunchía. Esto con el fin de garantizar la correcta funcionalidad de las instalaciones, logrando una buena prestación del servicio. Para la elaboración de este plan de mantenimiento se hará un seguimiento a los equipos que intervienen en el proceso, evaluando su estado actual, posibles causa y consecuencias de fallas; evitando a futuro las paradas no programadas.

## **2. JUSTIFICACION**

Para la empresa de servicios públicos del municipio de Nunchía Casanare es muy importante reducir los costos innecesarios de mantenimiento, reparaciones, tiempos muertos, repuestos, entre otros, que se están presentando actualmente; estos se pueden disminuir notoriamente si se cuenta con un plan de mantenimiento programado que establezca los lineamientos y parámetros para la intervención de los equipos, además se evitan reparaciones mayores que acarreen costos exagerados, se alarga la vida útil de los equipos gracias a la oportuna intervención, se evitan paradas no programadas o innecesarias que bajan la productividad de la planta, entre otros. Este tipo de mantenimiento es el más adecuado para la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Nunchía que por su ubicación geográfica, se encuentra alejada de centros industriales proveedores de repuestos y mano de obra calificada.



### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un plan de mantenimiento programado para la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Nunchía.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer el estado actual de los equipos.
- Identificar las fallas recurrentes que se presentan en los equipos que conforman el sistema de tratamiento.
- Aplicar la herramienta de modo y efecto de falla (AMEF) a los equipos de la planta.
- Diseñar el plan de mantenimiento programado.
- Capacitar al personal de la planta en el manejo del plan de mantenimiento.

## 4. ESTADO ACUAL

### 4.1 MANTENIMIENTO

Actualmente se presta más atención a las actividades económicas y al crecimiento industrial de los países desarrollados. Sin embargo, el éxito no solo se reduce a la inversión en nuevas plantas de producción e implantación de nuevas tecnologías, sino que es necesario hacer uso eficiente de las instalaciones existentes, donde es requisito primordial establecer un servicio de mantenimiento efectivo, económico y seguro los activos de la empresa.

Para el mejoramiento continuo de una industria debemos tener en cuenta dos premisas básicas. En primer lugar, debemos optimizar los procesos de mantenimiento; porque el paso del tiempo, los accidentes ocasionales y los agentes externos generan un deterioro en la vida útil de los equipos difícil de apreciar. Por lo cual es de vital importancia aumentar la inversión en el mantenimiento de los equipos para disminuir el coste de producción. En segundo lugar debemos contar con la cooperación, interés de todos y proyectarnos a una planta en específico; esto para alcanzar el éxito del proyecto (Palencia, 2014).

La moderna ideología del mantenimiento debe ser la base para el desarrollo de un proyecto, que nos ayuda a prevenir paros no deseados y constituye un gran aporte al incremento de las utilidades; esto gracias a programas de reducción del consumo energético, eliminación de paradas no programadas, productos de mejor calidad y en general el mejoramiento en la productividad de una industria. No solo se requiere de recursos y técnicas adecuadas sino del apoyo del área de producción para que el departamento de mantenimiento pueda trabajar en un equipo integrado y brinde los mejores resultados.

La principal función del mantenimiento es sostener la funcionalidad de los equipos y el buen estado de las máquinas a través del tiempo. Bajo esta premisa se puede entender la evolución del área de mantenimiento al atravesar las distintas épocas, acorde con las necesidades de sus clientes, que son todas aquellas dependencias o empresas de procesos o servicios, que generan bienes reales o intangibles mediante la utilización de estos activos para producirlos. La historia del mantenimiento, como parte estructural de las empresas, data desde el momento mismo de la aparición de las máquinas para la producción de bienes y servicios, inclusive desde cuando el hombre forma parte de la energía de dichos equipos (Gutiérrez, 2009).

## 4.2 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO

Las últimas cuatro décadas nos muestran un importante desarrollo de las metodologías y las tecnologías utilizadas en la gestión del mantenimiento. La ingeniería del mantenimiento ha hecho su crecimiento en cada una de sus ramas incluyendo técnicas e instrumentos para demostrar la credibilidad del mantenimiento proactivo utilizados actualmente en la industria. Hoy en día no se habla del mantenimiento como un gasto, por el contrario se ha convertido en generador de utilidades en las empresas y el responsable de la sostenibilidad de la misma (Quintero, 2017).

La **primera generación** del mantenimiento se da a comienzos del siglo XX con actividades de mantenimiento reparativo y la creación los primeros talleres, esta generación se extendió hasta mediados del siglo y estas fueron algunas características relevantes:

- Equipos robustos y sobre diseñados
- Volúmenes de producción bajos
- Poca importancia a los tiempos de parada de los equipos
- El mantenimiento era Mantenimiento Reactivo o de reparación
- La prevención de fallas en los equipos no era prioritaria

En la segunda guerra mundial se hizo necesario la implementación de nuevas técnicas para evitar fallas de los equipos en el campo de batalla y reducir los gastos en reparación, esto trajo como consecuencia el uso de los términos vida útil y disponibilidad de los equipos, esto dio origen a la **segunda generación** del mantenimiento, esta se extendió hasta principios de los 70 y estas fueron algunas características relevantes:

- Aumento de la complejidad de los equipos
- Importancia de la productividad de las plantas
- Incremento de la mecanización en las industrias
- Inicio del Mantenimiento Preventivo y Predictivo
- Necesidad de aumentar la vida útil de equipos

En la década de los 70 con la aparición de nuevas tecnologías y técnicas novedosas con el fin de disminuir los costos de reparación y las fallas en los equipos teniendo en cuenta los conceptos de calidad, seguridad y medio ambiente se dio origen a la **tercera generación** del mantenimiento la cual se extendió hasta finales del siglo pasado y está enmarcada con las siguientes características:

- Altos volúmenes de producción
- Alto grado de mecanización y automatización

- Relevancia en la protección de las personas, equipos y medio ambiente
- Gran desarrollo de las tecnologías de información (TICS)
- Avances del Mantenimiento Basado en Condición (CBM)
- Auge del Mantenimiento Productivo Total (TPM)
- Implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).

La cuarta generación se da a finales del siglo pasado y comienzos del nuevo milenio y está enmarcada por la competitividad de las empresas por la sobrevivencia, esta etapa representa la nueva revolución industrial y tecnológica y constituye la **Cuarta generación** del mantenimiento, esta se extiende desde principios del siglo hasta hoy, en ella se destacan características como:

- Gestión Integral de Activos ISO 55000
- Alto nivel de competencias del personal de mantenimiento
- Confiabilidad y Excelencia Operacional
- Prevención del Mantenimiento (MP)
- Desarrollo de la Optimización del Mantenimiento Planeado (PMO)
- Optimización Costo-Riesgo-Beneficio (CRBO)
- Análisis del Costo del Ciclo de Vida (LCCA)
- Optimización Integral del Mantenimiento (MIO).

Se ha demostrado que las modernas formulaciones de mantenimiento sobrepasan cualquier resultado esperado, reduciendo considerablemente el costo total de la manufactura con el uso de nuevas estrategias , herramientas y técnicas de normativa internacional (Palencia, 2014).

#### 4.3 TIPOS DE MANTENIMIENTO

Tradicionalmente, se han distinguido 4 tipos de mantenimiento, que se diferencian entre sí por el carácter de las tareas que incluyen:

##### 4.3.1 Correctivo

Es el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios de los mismos. Este tipo de mantenimiento se aplica para corregir los defectos que van presentando los diferentes equipos. Cuando se realizan estos mantenimientos, el nivel del proceso productivo baja notoriamente. (Garrido, 2003).

Ventajas:

- Una mayor duración tanto de los equipos como de las instalaciones
- Una reducción en los costos de reparaciones
- Lograr uniformidad en cuanto a la carga de trabajo para el personal encargado del mantenimiento se refiere, esto gracias a la programación de actividades
- La confiabilidad que se logra en todo el personal al saber que se encuentran laborando en las mejores condiciones de seguridad posible

Desventajas:

- Es común que algunas fallas sean originadas al momento de la ejecución, ocasionando con ello que éste sea más tardado
- Un precio de reparación que puede ser muy elevado, lo que a su vez podría afectar al momento de comprar los repuestos cuando sean necesarios
- Resulta imposible garantizar el tiempo que se demorará el proceso de reparación de las fallas

#### 4.3.2 Preventivo

El mantenimiento preventivo es una actividad programada de inspecciones. Tanto de funcionamiento como de seguridad, ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación, calibración, que debe llevarse a cabo en forma periódica en base a un plan establecido.

Este mantenimiento tiene lugar antes de que ocurra la falla o la avería, se efectúa bajo condiciones controladas sin la existencia de algún error en el sistema. Se realiza a razón de la experiencia y pericia del personal a cargo, los cuales son los encargados de determinar el momento necesario para llevar a cabo dicho procedimiento, el fabricante también puede estimular el momento adecuado a través de los manuales técnicos. (Nieto, 2009)

Ventajas:

- Permite detectar fallas.
- Disminuye los puntos muertos por parada.
- Permite aumentar y prolongar la vida útil de los equipos.
- Reduce y disminuye costos de reparación.
- Permite detectar los puntos débiles de las instalaciones.

## Desventajas

- Dificulta determinar de manera precisa el nivel de depreciación o desgaste de las piezas que conforman los distintos equipos.
- Es necesario tanto que el personal encargado del mantenimiento cuente con experiencia en los dispositivos, así como atender las recomendaciones hechas por el fabricante.

### 4.3.3 Programado

Este tipo de mantenimiento se realiza de acuerdo al programa de revisiones que presenta cada equipo o instalación, al tiempo de funcionamiento, la cantidad producida y los kilómetros recorridos. Su aplicación permite brindar un ambiente favorable y de protección a los equipos a través de un seguimiento personalizado. Debe ejecutarse de forma periódica sin importar la condición del equipo, siendo muy eficaz en equipos que requieren de una disponibilidad media o alta para mantener el nivel de calidad en el proceso productivo y garantizar el funcionamiento de la empresa a largo plazo. Para implementar correctamente este tipo de mantenimiento es necesario analizar cada equipo verificando su tipo, repuestos y datos del fabricante. No es necesario utilizar equipos especiales de inspección, con tan solo realizar un desarme y una revisión normal de piezas con ayuda de las herramientas básicas se logra un mantenimiento seguro (Garrido, 2003).

#### Ventajas:

- Evita las paradas productivas (época de mayor producción)
- Alarga la vida útil del equipo
- Desplaza otros mantenimientos
- Ayuda a la detección de otras fallas
- Previene reparaciones mayores y más costosas

#### Desventajas:

- No es tan preciso
- Aparecen averías que no existían
- Menos continuidad en la operación

### 4.3.4 Predictivo

Es el que persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad. Para aplicar este mantenimiento es necesario identificar variables físicas (temperatura, vibración,

consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo (Garrido, 2003).

Ventajas:

- Da más continuidad en la operación. Puesto que, si en la primera revisión se detecta algún cambio necesario, se programa otra pequeña pausa para instalarlo, se puede mantener una continuidad entre revisiones.
- Más confiabilidad. Al utilizar aparatos y personal calificado, los resultados deben ser más exactos.
- Requiere menos personal. Esto genera una disminución en el costo de personal y en los procesos de contratación, aunque luego veremos una desventaja sobre ello.
- Los repuestos duran más. Como las revisiones son en base a resultados, y no a percepción, se busca que los repuestos duren exactamente el tiempo que debe ser.

Desventajas:

- Siempre que hay un daño, necesita programación. Si al dueño le urge que se repare, es posible que tenga que esperar hasta la fecha que se defina como segunda revisión, por lo que las urgencias también deben darse mediante programaciones.
- Requiere equipos especiales y costosos. Al buscarse medir todo con precisión, los equipos y aparatos suelen ser de alto costo, por lo que necesitan buscarse las mejores opciones para adquirirse.
- Es importante contar con personal más calificado. Aunque ya mencionamos que el personal es menor, éste debe contar con conocimientos más calificados, lo que eleva a su vez el costo y quizá, dependiendo del área, disminuyan las opciones.
- Costosa su implementación. Por lo mismo de manejarse mediante programaciones de trabajo, si se unen los costos de todas las veces que se paró la máquina y se revisó por cuestiones que se identificaron la primera vez, el costo es considerablemente alto (Ramirez, 2012).

#### 4.4 ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA

El Análisis del Modo y Efecto de Fallas, también conocido como AMEF o FMEA por sus siglas en inglés (Failure Mode Effect Analysis), nació en Estados Unidos a finales de la década del 40. Esta metodología desarrollada por la NASA, se creó con el propósito de evaluar la confiabilidad de los equipos, en la medida en que determina los efectos de las fallas de los mismos.

Es un proceso sistemático para la identificación de las fallas potenciales del diseño de un producto o de un proceso antes de que éstas ocurran, con el propósito de eliminarlas o de minimizar el riesgo asociado a las mismas. Por lo tanto, el AMEF puede ser considerado como un método analítico estandarizado para detectar y eliminar problemas de forma sistemática y total, cuyos objetivos principales son:

- ✓ Determinar los efectos de las fallas potenciales en el desempeño del sistema
- ✓ Identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la oportunidad de que ocurra la falla potencial.
- ✓ Analizar la confiabilidad del sistema.
- ✓ Documentar el proceso.

Aunque el método del AMEF generalmente ha sido utilizado por las industrias automotrices, éste es aplicable para la detección y bloqueo de las causas de fallas potenciales en productos y procesos de cualquier clase de empresa, ya sea que estos se encuentren en operación o en fase de proyecto; así como también es aplicable para sistemas administrativos y de servicios (Alvarez, 2010).

#### 4.4.1 Tipos de (AMEF)

El procedimiento AMEF puede aplicarse a:

- **Productos:** El AMEF aplicado a un producto sirve como herramienta predictiva para detectar posibles fallas en el diseño, aumentando las probabilidades de anticiparse a los efectos que pueden llegar a tener en el usuario o en el proceso de producción.
- **Procesos:** El AMEF aplicado a los procesos sirve como herramienta predictiva para detectar posibles fallas en las etapas de producción, aumentando las probabilidades de anticiparse a los efectos que puedan llegar a tener en el usuario o en etapas posteriores de cada proceso.
- **Sistemas:** El AMEF aplicado a sistemas sirve como herramienta predictiva para detectar posibles fallas en el diseño del software, aumentando las probabilidades de anticiparse a los efectos que pueden llegar a tener en su funcionamiento.

#### 4.4.2 Procedimiento para realizar el AMEF de un equipo

Para desarrollar un AMEF debe considerarse que se requiere de un trabajo previo de recolección de información; en este caso el proceso debe contar con documentación suficiente acerca de todos los elementos que lo componen. Este trabajo se realizó en las primeras etapas del desarrollo del proyecto ver Tabla (2). Los pasos para la realización se describen a continuación (Holguín, 2017).



1. Desarrollar un mapa del proceso.
2. Formar un equipo de trabajo, documentar el proceso, el producto, etc.
3. Determinar los pasos críticos del proceso.
4. Determinar las fallas potenciales de cada paso del proceso, determinar sus efectos y evaluar su nivel de gravedad (severidad).
5. Indicar las causas de cada falla y evaluar la ocurrencia de las fallas.
6. Indicar los controles (medidas de detección) que se tienen para detectar fallas y evaluarlas.
7. Obtener el número de prioridad de riesgo para cada falla y tomar decisiones.
8. Recomendar acciones preventivas, correctivas o de mejora.

#### *4.4.2.1 Desarrollar un mapa del proceso*

En este paso se busca representar gráficamente los pasos del proceso. Para ello podemos utilizar un diagrama de bloques, un diagrama de flujo simple o un cursograma sinóptico del proceso. Para este inciso no se desarrolla esquema del proceso porque los equipos solo desarrollan una función, ejemplo: bombear, airear, generar, etc.

#### *4.4.2.2 Formar un equipo de trabajo*

Se recomienda conformar el equipo de trabajo siguiendo la estructura de proyecto Kaisen. Estos equipos se caracterizan por tener un responsable o coordinador con conocimientos en AMEF, quien se encarga de gestionar la metodología; además del líder se requiere de 3 o 4 personas más, con habilidades y conocimientos del producto y el proceso, para conformar un grupo multidisciplinario (López, 2016). Para este ítem se cuenta con el autor del proyecto como líder y el operador como apoyo aportando sus conocimientos del proceso y los equipos de la planta.

#### *4.4.2.3 Determinar los pasos críticos del proceso*


En esta etapa debe realizarse un análisis inicial para identificar fallas potenciales que afecten de manera crítica el proceso. Es un buen factor de criticidad la salud, es decir, que debe iniciarse con un análisis para identificar riesgos potenciales para la salud de clientes y colaboradores; seguidamente pueden considerarse factores relacionados con la calidad y luego con la disponibilidad; de esta manera se identifican los pasos críticos del proceso. Para este caso seleccionamos como crítico cada tipo de equipos ya que así cubrimos todos los procesos de la planta y se garantiza un análisis completo.

4.4.2.4 Determinar las fallas potenciales de cada paso, determinar sus efectos y evaluar su severidad

Para cada uno de los equipos deben identificarse las fallas potenciales. En primer lugar, debe revisarse la información histórica y registrar las fallas que hayan ocurrido con anterioridad; en segundo lugar, deben identificarse con ayuda de los especialistas, todas las fallas que pudieran ocurrir en el paso del proceso. Parte de este trabajo se realizó en las primeras etapas del desarrollo del proyecto ver Tabla (2), donde se relacionan los modos de falla que han ocurrido, también se plasmara en el (AMEF) de cada equipo.

La severidad de los efectos potenciales de falla se evalúa en una escala del 1 al 10 y representa la gravedad de la falla para el cliente o para una operación posterior, una vez que esta falla ha ocurrido, según **Tabla 1**:

Tabla 1. Grado de severidad




Efecto	Rango	Criterio
No	1	Sin efecto
Muy poco	2	Cliente no molesto. Poco efecto en el desempeño del artículo o sistema.
Poco	3	Cliente algo molesto. Poco efecto en el desempeño del artículo o sistema.
Menor	4	El cliente se siente algo insatisfecho. Efecto moderado en el desempeño del artículo o sistema.
Moderado	5	El cliente se siente algo insatisfecho. Efecto moderado en el desempeño del artículo o sistema.
Significativo	6	El cliente se siente algo inconforme. El desempeño del artículo se ve afectado, pero es operable y está a salvo. Falla parcial, pero operable.
Mayor	7	El cliente está insatisfecho. El desempeño del artículo se ve seriamente afectado, pero es funcional y está a salvo. Sistema afectado.
Extremo	8	El cliente muy insatisfecho. Artículo inoperable, pero a salvo. Sistema inoperable
Serio	9	Efecto de peligro potencial. Capaz de discontinuar el uso sin perder tiempo, dependiendo de la falla. Se cumple con el reglamento del gobierno en materia de riesgo.
Peligro	10	Efecto peligroso. Seguridad relacionada - falla repentina. Incumplimiento con reglamento del gobierno.

Fuente: <http://www.leansolutions.co/conceptos/amef/>

#### 4.4.2.5 Indicar las causas de cada falla y evaluar la ocurrencia de las fallas

En este paso se deben relacionar las causas asociadas a cada falla identificada en el paso anterior. Además, se debe evaluar la ocurrencia de las fallas en una escala de 1 a 10 teniendo en cuenta la **Tabla 2**. (SOLUTIONS, 2017).

Tabla 2. Grado de ocurrencia



Ocurrencia	Rango	Criterios	Probabilidad de Falla
Remota	1	Falla improbable. No existen fallas asociadas con este proceso o con un producto casi idéntico.	<1 en 1,500,000
Muy Poca	2	Sólo fallas aisladas asociadas con este proceso o con un proceso casi idéntico.	1 en 150,000
Poca	3	Fallas aisladas asociadas con procesos similares.	1 en 30,000
Moderada	4	Este proceso o uno similar ha tenido fallas ocasionales	1 en 4,500
	5		1 en 800
	6		1 en 150
Alta	7	Este proceso o uno similar han fallado a menudo.	1 en 50
	8		1 en 15
Muy Alta	9	La falla es casi inevitable	1 en 6
	10		>1 en 3

Fuente: <http://www.leansolutions.co/conceptos/amef/>

#### 4.4.2.6 Indicar los controles (medidas de detección) que se tienen para detectar fallas y evaluarlas

En este paso se debe describir el tipo de control que se tiene para detectar cada falla. Además, se debe evaluar, en una escala del 1 al 10, la capacidad de detección de la misma; entre mayor sea la posibilidad de detectar la falla, menor será la calificación como se muestra en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Grado de detección

Calificación		Tipos de inspección		
Cuantitativa	Criterio	A	B	C
1	Controles seguros para detectar: El ítem ha pasado a prueba de errores. Es casi improbable el hecho de realizar partes no conformes.	X		
2	Controles casi seguros para detectar: El ítem ha pasado por medición automática. No puede pasar la parte no conforme.	X	X	
3	Controles con buena oportunidad de detectar: Detección inmediata del error en la estación o en la estación siguiente. No pasa la unidad no conforme.	X	X	
4	Controles con buena oportunidad de detectar: Detección del error en la estación siguiente. No pasa la unidad no conforme.	X	X	
5	Controles que pueden detectar: Mediciones "pasa" o "no pasa" realizado en el 100% de las partes después de dejar la estación.		X	
6	Controles que pueden detectar: Control en menos del 100% de las partes; puede estar apoyado en métodos estadísticos.		X	X
7	Controles con poca oportunidad de detectar: Control logrado con doble inspección visual.			X
8	Controles con poca oportunidad de detectar: Control efectuado con una inspección visual.			X
9	Controles que probablemente no detectarán: Control logrado con verificaciones indirectas o al azar.			X
10	Certeza absoluta de no detección: No se controla, no se detecta.			

A = Prueba de error.

B = Medición automatizada.

C= Inspección visual/manual.

Fuente: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com>

#### 4.4.2.7 Obtener el número de prioridad de riesgo falla y tomar decisiones

El número de prioridad de riesgo, también conocido como RPN ó NPR por sus siglas en español, es el producto de multiplicar la severidad, la ocurrencia, y la detección. El RPN es un número entre 1 y 1000 que nos indica la prioridad que se le debe dar a cada falla para eliminarla. Cuando el RPN es superior a 100 es un claro indicador de que deben implementarse acciones de prevención o corrección para evitar la ocurrencia de las fallas, de forma prioritaria. Sin embargo, el objetivo general es el de tratar todas las fallas (López, 2016).

#### 4.4.2.8 Recomendar acciones preventivas, correctivas o de mejora

Una vez se ha establecido la prioridad de los modos de falla, se procede a ejecutar acciones preventivas, correctivas o de mejora que minimicen los efectos y disminuyan el número de prioridad de riesgo.

### 4.5 LA ALCALDIA DE NUNCHÍA

La alcaldía Municipal de Nunchía está ubicada al oriente de Colombia, en el departamento de Casanare, Municipio de Nunchía, Teléfono: (57 8) 6352010 Fax:(57 8) 6352010 Correo electrónico: [contactenos@nunchia-casanare.gov.co](mailto:contactenos@nunchia-casanare.gov.co) Dirección: Palacio Municipal Cra. 5 N° 7 – 44, Frente al parque principal como se muestra a continuación en la **Figura 1**.

Figura 1. Alcaldía de Nunchía



Fuente: <http://www.nunchia-casanare.gov.co/Paginas/default.aspx>

#### 4.5.1 Misión

Nunchía es una entidad territorial comprometida con la prestación eficiente de los servicios públicos y con el enaltecimiento de los principios y los valores humanos para garantizar el bienestar y la calidad de vida de todos sus habitantes a través de una gerencia pública eficaz en el uso racional de los recursos humanos, financieros, físicos y tecnológicos, que ayuden a impulsar el desarrollo físico, humano, económico, social y ambiental del municipio.

#### 4.5.2 Visión

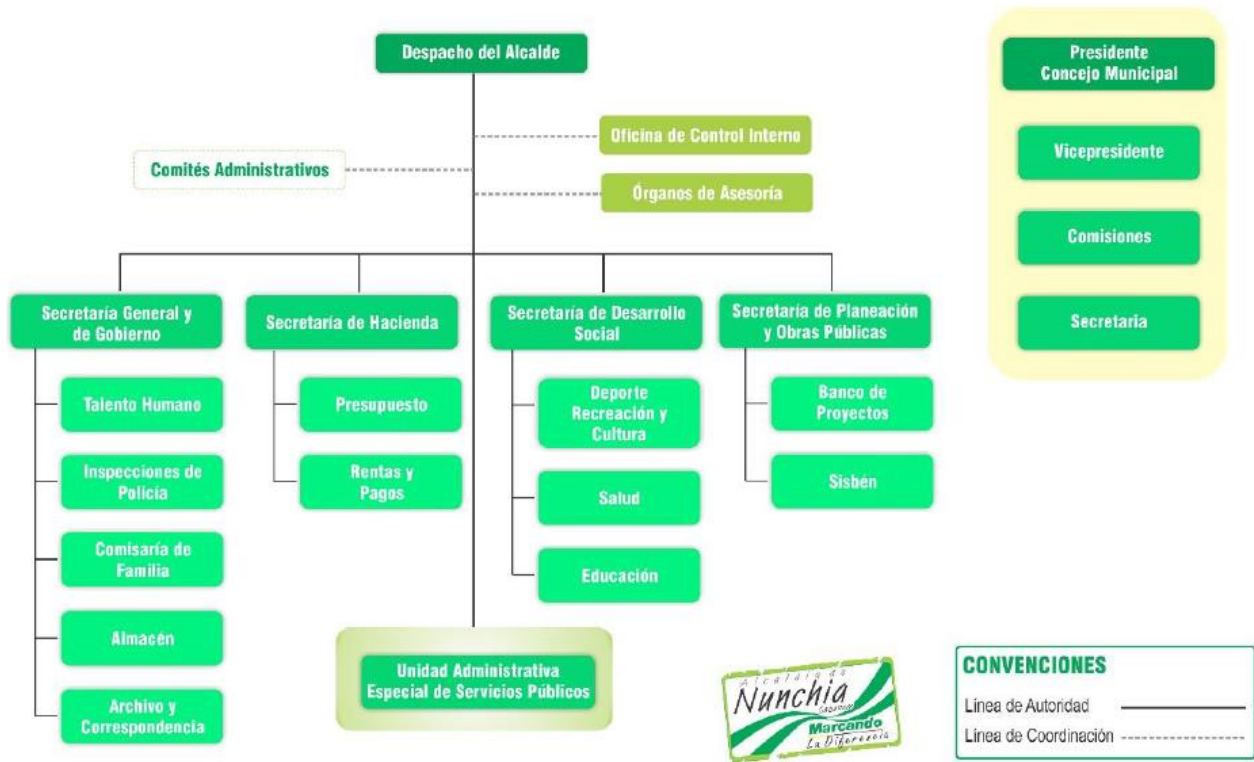
Para el año 2025 Nunchía será un territorio de paz con una economía propia de impacto local y regional destacada por una oferta de servicios agro-industriales, turísticos y ambientales que genera un desarrollo sostenible y sustentable en lo humano, lo físico, lo económico, lo social y lo ambiental para todos sus habitantes, quienes gozarán de una mejor calidad de vida con oportunidades de trabajo digno, inclusión y participación social.

#### 4.5.3 Objetivos institucionales

- Establecer las políticas y acciones que permitan generar las condiciones oportunas para garantizar el ejercicio y reconocimiento de los derechos individuales y colectivos de todos los habitantes de Nunchía en la relación con el entorno y la institucionalidad, que propendan por la disponibilidad acceso, continuidad y calidad de la prestación de los servicios públicos con equidad, inclusión y justicia social.
- Fomentar el desarrollo económico, agro-industrial y turístico del municipio mediante el fortalecimiento de la infraestructura en servicios públicos, vías y equipamientos públicos que brinden las condiciones necesarias para su desarrollo.
- Construir confianza, estructuras transparentes y relaciones de cooperación entre los actores públicos y privados tanto locales como regionales y nacionales que inciden en el municipio.
- Promover el uso racional sostenible y sustentable de los recursos naturales identificando los posibles riesgos naturales que se generan, así como las afectaciones generadas por el cambio climático para ejecutar acciones de mitigatorio (ALCALDÍA DE NUNCHÍA., 2017).

### 4.5.3 Organigrama

Figura 2. Organigrama alcaldía de Nunchía



Fuente: <http://www.nunchia-casanare.gov.co/Paginas/default.aspx>

### 4.5.4 Ubicación

Nombre del municipio: Nunchía

NIT: 800099425-4

Código Dane: 85225

Gentilicio: Nunchianos

Límites del municipio:

Por el norte con el Municipio de Támara;

Por el oriente con los Municipios de Pore y San Luís de Palenque;

Por el Sur con San Luís de Palenque y Yopal;

Por el occidente con el departamento de Boyacá.

Extensión total: 1149.126 Km<sup>2</sup>

Extensión área urbana: 5.7 Km<sup>2</sup>

Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): 398 metros

Temperatura media: 26° C

Distancia de referencia: 53 Km. a Yopal (capital del departamento)

Para mayor claridad ver **Figura 3**.

Figura 3. Ubicación de Nunchía



Fuente: <http://www.nunchia-casanare.gov.co/Paginas/default.aspx>

#### 4.6 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)

El término PTAR quiere decir Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, y no se debe confundir con PTAP que son las siglas utilizadas para Planta de Tratamiento de Agua Potable. El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua efluente del uso humano. Las aguas residuales domésticas se generan en residencias, instituciones y locales comerciales e industriales. Estas pueden tratarse en el sitio donde se generan (por ejemplo, fosas sépticas, filtros anaerobios u otros medios de depuración, o bien pueden ser recogidas y llevadas mediante una red de tuberías y eventualmente bombeadas a una planta de tratamiento municipal. Los esfuerzos para recoger y tratar las aguas residuales domésticas de la descarga habitualmente están sujetos a regulaciones y normas locales, estatales y federales (regulaciones y controles). A menudo ciertos contaminantes de origen industrial presentes en las aguas residuales requieren procesos de tratamiento especializado. Plantas de tratamiento (Chaparro, 2017).

La planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Nunchía en la actualidad no cuenta con ningún tipo de programa ó plan de mantenimiento que de los lineamientos para la mantención de los equipos, son los operadores de planta



los encargados de realizar dicha labor. Para su funcionamiento la (PTAR) cuenta con los siguientes equipos relacionados como se observa en la **Tabla 4**.

**Tabla 4. Equipos de la planta de tratamiento de aguas residuales**

NOMBRE	MARCA	SERIE/CODIGO	CANTIDAD
SOPLADOR	ROOTS UNIVERSAL	68 U-RAI	2
MOTOR ELECTRICO	SIEMENS	1LA7 164-4YA70	2
COMPRESOR	SARGO	PENDIENTE	1
BOMBA ELECTROSUMERGIBLE	PEDROLLO	CDBC2080326	1
GENERADOR	PERKINS ENGLAND	CM51029*U172920J*	1
BOMBA ELECTROSUMERGIBLE	BARNES	1712291044	2
BOMBA DOSIFICADORA	PULSATRON	C	1

Fuente: Autor del Proyecto

#### 4.6.1 Sopladores 68-urai

Los sopladores Universal RAI son sopladores rotatorios de servicio pesado, diseñados con pies de montaje de acero resistentes desmontables, que permiten una fácil adaptabilidad en el campo a cualquier requisito de instalación horizontal o vertical.

Debido a los soportes desmontables, estas unidades se pueden adaptar fácilmente a cualquiera de las cuatro posiciones del eje de transmisión: la mano derecha, la mano izquierda, la parte inferior o superior. El diseño compacto y robusto está diseñado para un servicio continuo cuando se opera de acuerdo con las clasificaciones de velocidad y presión.

Se utilizan cojinetes antifricción extra grandes, con un rodamiento de rodillos cilíndricos en el eje de transmisión para soportar la tracción de la correa trapezoidal. El Universal RAI presenta control de empuje, con lubricante de aceite salpicado en el extremo del engranaje y lubricante de grasa en el extremo de la transmisión (Universal-RAI, 2017).

Estos están acoplados a motores eléctricos SIEMENS 20HP mediante correas tipo (V) las cuales transmiten la potencia y hacen parte fundamental del proceso de aireación y oxigenación de lodos, ver **Figura 4**.

Figura 4. Soplador 68-URAI



Fuente: <https://www.pdblowners.com/product/68-roots-urai-blower/> y Autor

#### 4.6.2 Motor eléctrico siemens 20hp

Posee la caja de conexiones en la parte superior de la carcasa. Para la conexión a tierra se dispone de un borne en la caja de conexiones debidamente marcado, su carcasa es de aluminio inyectado, los platillos de los motores son de fundición de hierro, tanto en el lado de accionamiento AS como en el lado de servicio BS. Lleva dos capas de pintura, una capa anticorrosiva, que ofrece protección en caso de humedad o de instalación a la intemperie o en locales en los que haya que contar con gases y vapores químicamente agresivos y otra de acabado color gris. Los ventiladores para la refrigeración del motor son de plástico y su acción refrigerante es complementada por la caperuza, fabricada en lámina de acero (Kaeser, 2017)

En la planta estos motores son utilizados como generadores de potencia para la acción de los sopladores y garantizar una buena aireación, ver **Figura 5**.

Figura 5. Motor eléctrico siemens



Fuente: Autor del proyecto

#### 4.6.3 Compresor Sargo

Este producto tiene una versatilidad de usos para distintos que van desde talleres automovilísticos, monta llantas u otro tipo de talleres grandes hasta el uso dentro de la industria pequeña y mediana. En la planta de tratamiento de aguas residuales es utilizado para el uso de herramientas neumáticas y algunos dispositivos de menor capacidad, ver **Figura 6**.

Figura 6. Compresor Sargo 5HP



Fuente: Autor del proyecto

#### 4.6.4 Bomba electro sumergible Pedrollo

Son aconsejables para un uso doméstico, civil e industrial. En particular para todos los casos en que haya presencia de cuerpos sólidos en suspensión de dimensión hasta 50 mm, como por ejemplo aguas freáticas, aguas de superficie, aguas sucias y cargadas.

Es aconsejable para el vaciado de ambientes inundados como: cantinas, garajes subterráneos, áreas de auto lavado, para el vaciado de pozos de aguas negras y para el vaciado de purines. Estas bombas se caracterizan por su fiabilidad en las instalaciones fijas con funcionamiento automático (Pedrollo, 2015).

En este caso esta bomba es utilizada para el traspaso de lodo del tanque de filtración al tanque de secado, garantizando el no rebosamiento del sistema, ver **Figura 7**.

Figura 7. Bomba sumergible de lodos



Fuente: Autor del proyecto

#### 4.6.5 Generador Perkins 30 kw

El generador trifásico Perkins 30kw es una unidad diseñada y fabricada para aplicaciones principales o de reserva, lo que significa que son adecuados para múltiples propósitos, tales como hogares domésticos, centros de datos, sistemas críticos para empresas, agricultura, puntos de venta de alimentos móviles y diversas aplicaciones industriales. El marco base está construido de acero galvanizado, conformado a presión, con un espesor adecuado; atornillado por pernos galvanizados y contiene el gran tanque de combustible para permitir un funcionamiento prolongado (CPS GENERATORS, 2018).

Este generador es utilizado en la planta para el suministro de energía eléctrica a los equipos en casos de emergencia, por la interrupción del servicio de energía y para garantizar un funcionamiento continuo de la planta, ver **Figura 8**.

**Figura 8.** Generador Perkins 30 KW



Fuente: Autor del proyecto

#### 4.6.6 Bomba electro sumergible Barnes

Estas bombas son utilizadas para diferentes labores de la industria como lo es: bombeo de agua con sólidos en suspensión, control de niveles freáticos, desagüe de zonas inundadas, fuentes decorativas, manejo de aguas residuales o negras, plantas de tratamiento, pozos sépticos y riego de estiércol, (BARNES, 2018) en este caso es usada para el manejo de aguas negras o residuales dentro de la planta de tratamiento. Son las encargadas de abastecer el sistema con el bombeo del agua del tanque de recibimiento al tanque de oxigenación evitando el rebose de materia orgánica, ver **Figura 9**.

**Figura 9. Bomba sumergible Barnes**



Fuente: Autor del proyecto

#### 4.6.7 Bomba dosificadora Pulsatron

Esta bomba es utilizada en el proceso de desinfección para la adición de cloro al agua antes de verterla al río Tocaría, ver **Figura 10**.

Es una bomba dosificadora de diafragma alimentada por solenoide, cuenta con diafragma de elastómero revestido, este diafragma es sellado contra el cabezal formando una cámara de bombeo sin juntas y sin fugas, a su vez controlador de solenoide está conectado al diafragma para crear el movimiento de bombeo.

A medida que el diafragma se aleja del cabezal, crea un vacío que cierra la válvula de retención de descarga y abre la válvula de retención de succión, extrayendo el fluido bombeado en la cámara de bombeo. Cuando el solenoide fuerza al diafragma hacia el cabezal, la válvula de retención de succión se cierra y la válvula de descarga se abre permitiendo que el líquido salga (PULSAFEEDER, 2018).

**Figura 10. Bomba dosificadora de cloro**



Fuente: Autor del proyecto

## 5. METODOLOGÍA

Este proyecto se desarrolló siguiendo las actividades propuestas para dar cumplimiento a los objetivos y así colaborar con la comunidad del municipio.

A continuación, se describen las actividades principales que se ejecutaron para el diseño y elaboración de este plan de mantenimiento.

### 5.1 BÚSQUEDA DE REGISTROS EXISTENTES EN LA EMPRESA

En esta etapa del proyecto se contó con la ayuda y apoyo directo del personal de almacén y archivo de la alcaldía municipal en la recopilación de cualquier documento, factura, contrato, convenio y demás soportes que ayuden a conocer el comportamiento de los equipos desde su instalación y puesta en marcha hasta la actualidad.

Inicialmente con el apoyo del encargado de la oficina de archivo municipal, se buscó en documentos físicos de años anteriores guardados en cajas y almacenados en una bodega, pero la humedad destruyó la mayoría de ellos. Allí se buscó algún tipo de información de interés para el propósito, de esta tarea se obtuvieron tres (3) contratos: CONTRATO DE SUMINISTROS No. 0114-14-01-XXXX DE 2012, CONTRATO DE OBRA PUBLICA No. 0114-14-01-XXX DE 2013 y CONTRATO DE COMPRVENTA No.0114-14-01-XXX DE 2015, que contemplan algunas compras de equipos y ordenes de servicio las cuales se relacionan en la siguiente tabla. Copia de ello se contemplará en los anexos como evidencia de la investigación. No se encontró información anterior al año 2012 en ninguna instancia municipal o departamental.

Como segundo recurso y con el deseo de encontrar cualquier aporte a nuestro proyecto se solicitó vía telefónica a archivo de la gobernación de donde se obtuvo el CONTRATO DE OBRA 0701-XX que relaciona la petar del municipio de Nunchía. Allí se encontró relación de algunos equipos de dotación para la puesta en marcha de la PTAR, esta información está relacionada en la **Tabla 5** y en los anexos como evidencia de la investigación.

También se buscó en el almacén municipal soportes de compra o mantenimiento a los equipos de la planta, pero solo se encontraron requisiciones de consumibles para la unidad de servicios públicos como insumos y dotación para el personal que opera en esta entidad; según el gerente de la unidad, cuando ocurre la avería se solicita el mantenimiento a empresas de la región, pero de ello no se guarda ningún



tipo de evidencia por la falta de formatos, esto trae como consecuencia ausencia de documentación de los años 2016, 2017 y 2018

Tabla 5. Estado actual de los equipos

EQUIPO	HISTORIAL ENCONTRADO
SOPLADORES 68 U-RAI	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Instalación de sopladores (19/09/2002).</li> <li>✓ Optimización de blower por valor COP 1.200.000.00 (03/10/2014).</li> <li>✓ Suministro arrancador suave de 20 HP de potencia para soplador con instalación por valor COP 3.800.000.00 (03/10/2014).</li> </ul>
MOTORES ELECTRICOS SIEMENS	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Instalación de motores (19/09/2002).</li> <li>✓ Suministro de cable de alimentación 4x6 de motor de 20Hp soplador por valor COP 431.034.00 (03/10/2014).</li> <li>✓ Cambio bornera 2 motores siemens 20HP para sopladores por valor de COP 4.500.00.00 (03/10/2014)</li> <li>✓ Suministro motor eléctrico 20 HP Weg por valor COP 2.800.000.00 (03/10/2014).</li> </ul>
COMPRESOR SARGO 5HP	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Instalación de compresor por valor COP 22.334.140.00(19/09/2002).</li> <li>✓ Suministro contactor compresor por valor COP 250.000.00 (03/10/2014).</li> </ul>
ELECTROSUMERGIBLE PEDROLLO 1HP	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ De este equipo no se encontró información soportada en archivo ni almacén municipal, pero según testimonio del operador EDGAR RODRIGUEZ fue necesario remplazarla el mes de noviembre del año 2017.</li> </ul>
GENERADOR PERKINS 30KW	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ De este equipo no se encontró información soportada en archivo ni almacén municipal, no obstante, según entrevista verbal realizada al operador EDGAR RODRIGUEZ, aseguro recordar que en el primer semestre de 2017 se realizó revisión general, y se cambió aceite de motor.</li> </ul>
ELECTROBOMBAS SUMERGIBLE	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Instalación electrobomba sumergible modelo 4SEH-501 de 5HP, 440 gpm, por valor COP 8.515.727.00 (19/09/2002).</li> <li>✓ Suministro bomba sumergible monofásica de 2HP por valor de COP 3.654.000.00 (30/12/2012).</li> <li>✓ Optimización de electrobomba sumergible aguas negras de 2HP, trifásica con instalación de válvula neumática, manguera sinflex, registros, cheque</li> </ul>

	<p>resorte de 3", tornillos, conectores y niples por valor COP 2.143.966.00 (03/10/2014).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Desmonte y montaje de motor de electrobomba sumergible de 30 HP y bobinado de motor de 30 HP por valor COP 3.086.207.00 (03/10/2014).</li> <li>✓ Suministro e instalación de bomba sumergible de 3" 2HP por valor COP 10.208.000.00 (09/09/2015).</li> </ul>
BOMBA DOCIFICADORA DE CLORO	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ De este equipo no se encontró información soportada en archivo ni almacén municipal, no obstante según entrevista verbal realizada al operador EDGAR RODRIGUEZ, afirmo tener conocimiento de intervención realizada por avería en primer semestre de 2017 en donde se cambió cheques y diafragma.</li> </ul>

Fuente: Autor del proyecto

## 5.2 BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN EXTERNA

Esta fase se desarrolló accediendo a la página oficial, revistas y documentos de las marcas de los equipos como son: SIEMENS, PEDROLLO, PULSATRON, BARNES U-RAI, entre otros, en los cuales se encontraron, descripciones de los equipos, especificaciones técnicas, e información más detallada, como despieces en algunos casos y recomendaciones de uso e instalación. Esta información se usó como soporte en la descripción de los equipos y guía para identificar algunos modos de falla en la elaboración de los AMEF. A continuación, se muestran la **Tabla 6.**, **Figura 11.** y **Figura 12.** prueba de la investigación:

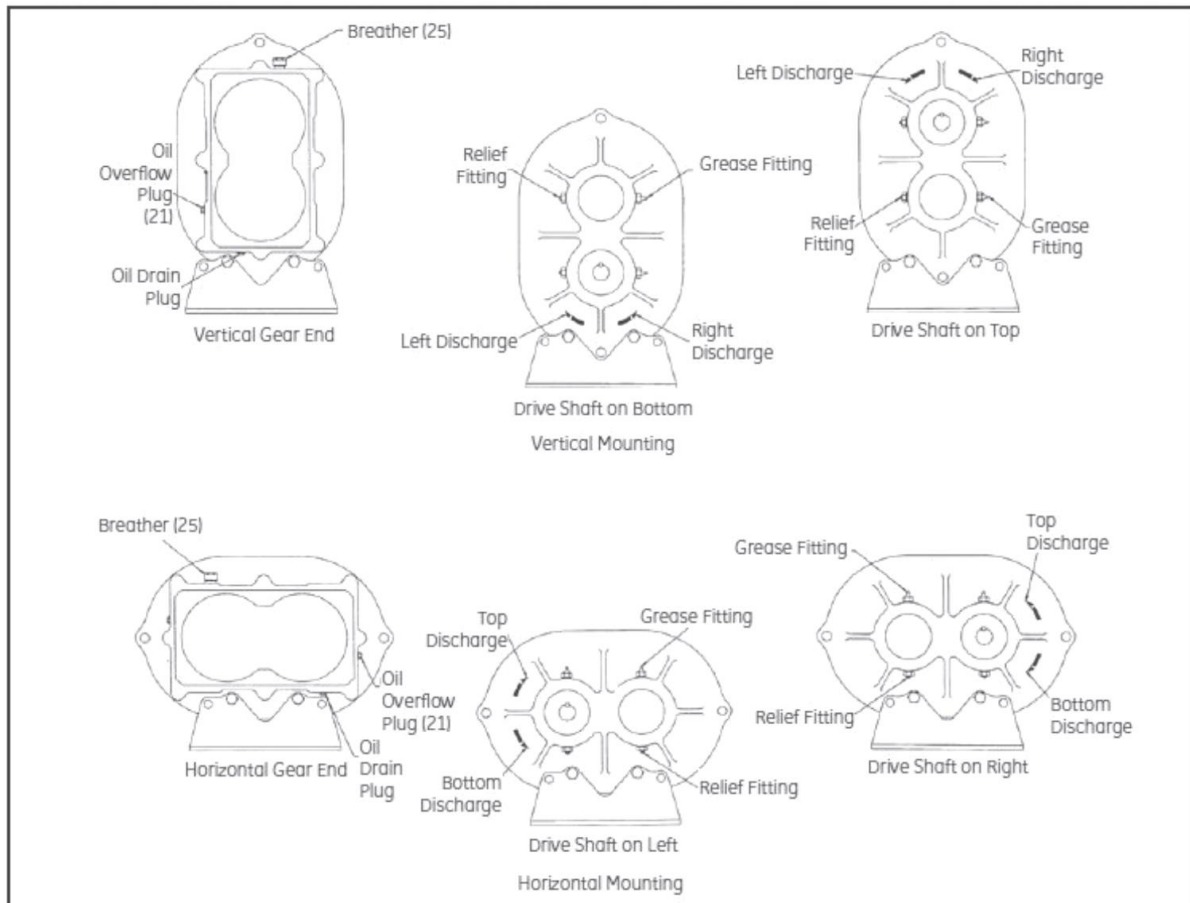
Tabla 6. Algunos modos de falla de las bombas Pulsatron

7.0 TROUBLESHOOTING		
Problem	Probable Cause	Remedy
Failure to Pump	1. Leak in suction side of pump	1. Examine suction tubing. If worn at the end, cut approximately one inch (2.5cm) off and reconnect
	2. Valve seats not sealing	2. Clean valve seats if dirty or replace with alternate material if deterioration is noted
	3. Low setting on pump	3. When pumping against pressure, the dial should be set above 20% capacity for a reliable feed rate
	4. Low suction level	4. Solution must be above foot valve strainer
	5. Diaphragm ruptured	5. Replace diaphragm as shown in 6.0 Maintenance Section. Check for pressure above rated maximum at the injection point. NOTE <sup>®</sup> Chemical incompatibility with diaphragm material can cause diaphragm rupture and leakage around the pump head
	6. Pump head cracked or broken	6. Replace pump head as shown in 6.0 Maintenance Section. Make sure fitting are hand tight only. Using pliers and wrench can crack pump head. Also, chemical incompatibility can cause cracking and subsequent leakage.
	7. Pump head contains air or chlorine gas	7. Bleed pump head, see 5.0 Start-up and Operation section
	8. Breakdown or disconnection of wiring	8. Connect wiring properly. Check fuse or circuit breaker
	9. Voltage drop	9. Take measures after investigation of cause
	10. Malfunction of electronic control board	10. Contact supplier

Fuente: <http://pulsatron.salesmrc.com>

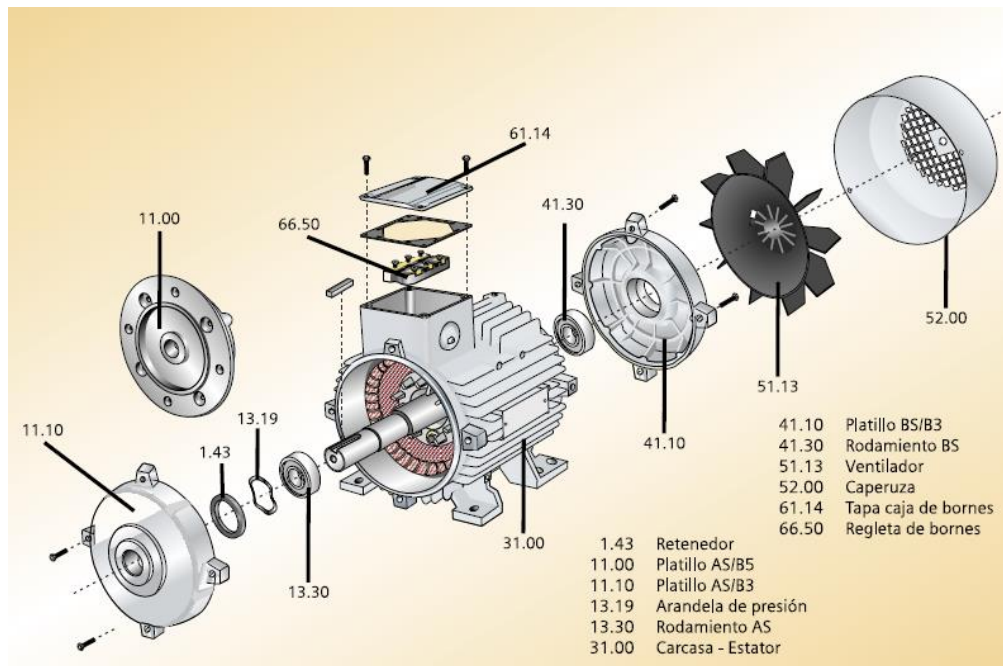
Figura 11. Puntos de lubricación según orientación del soplador

Blower Orientation and Lubrication Points: Grease Lubricated Drive End Roots Universal RAI series & URAI-G gas blowers



Fuente: <https://www.pdblowers.com/product/68-roots-urai-blower/>

Figura 12. Despiece de un motor siemens



Fuente: <https://www.siemens.com/global/en/home.html>

### 5.3 IDENTIFICAR FALLAS RECURRENTE EN EQUIPOS

Con la información encontrada en la fase anterior donde se describen algunas adquisiciones de equipos e intervenciones a otros, y entrevistas al operador de la planta, el señor Edgar Rodríguez quien lleva aproximadamente 5 años en este cargo, encontramos fallas que se repiten conforme avanza el tiempo y que han afectado el proceso de manera parcial ó total y en ocasiones, por la gravedad de la falla que requiere dar de baja al equipo afectado. También se revisó la información encontrada en los catálogos de algunos proveedores donde especifican los posibles daños e intervenciones que requiere su equipo bajo condiciones normales de servicio. Esta información y análisis realizado se encuentra plasmado en la **Tabla 7**, como constancia de la investigación y base para la aplicación de la herramienta de modo y efecto de falla (AMEF).

**Tabla 7. Fallas recurrentes de los equipos del sistema**

EQUIPO	FALLAS RECURRENTE
Sopladores U-RAI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdida de tensión exagerada en correas</li> <li>• Recalentamiento general del equipo</li> <li>• Vibración excesiva del equipo</li> </ul>
Motores eléctricos Siemens	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conexión de cables sulfatada</li> <li>• Borneras sobrecalentadas y se queman</li> <li>• Altas vibraciones en el equipo</li> <li>• Recalentamiento en rodamientos</li> </ul>
Compresor Sargo 5HP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daño de válvula reguladora</li> <li>• Fuga aceite en unidad de compresión</li> </ul>
Electro sumergible Pedrollo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuga por sello mecánico</li> <li>• Embobinado quemado</li> <li>• Pérdida total del equipo</li> </ul>
Generador Perkins 30KW	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Batería descargada</li> <li>• Conexiones eléctricas sulfatadas</li> </ul>
Electro bombas sumergible 2HP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bobinado quemado</li> <li>• Fuga en sello mecánico</li> <li>• Pérdida total del equipo</li> </ul>
Bomba dosificadora de cloro	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdida de presión por fuga en cheques</li> <li>• Diafragma roto</li> </ul>

Fuente: autor del proyecto

#### 5.4 APLICACIÓN DE ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (AMEF)

A continuación, se evaluará mediante la herramienta análisis de modo y efecto de falla a cada tipo de maquina en la planta. Se debe aclarar que debido a la falta de equipos vacantes o de remplazo se hace necesario contar con un funcionamiento continuo en cada proceso de la (PTAR).

##### 5.4.1 Evaluación del formato de AMEF para cada tipo de equipos

Se evaluaron todos los equipos existentes en la planta siguiendo los pasos para la realización de un análisis de modo y efecto de falla. A continuación, se evalúa cada uno de los modos de falla más relevantes, el cálculo del NPR y las recomendaciones dadas en cada caso como se muestra en las **Tablas 8,9,10,11,12 y 13**. La implementación queda en manos de la unidad de servicios públicos encargada de la gestión y cumplimiento de estas actividades propuestas.

### 5.4.1.1 Evaluación de AMEF para Sopladores

Tabla 8. Evaluación de AMEF para Sopladores

AMEF SOPLADORES											
AMEF DE: <input type="checkbox"/> Sistema <input checked="" type="checkbox"/> Equipo		ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA						Gerencia: ALCALDE			
Proveedor afectado		Descripción	Ingeniero: Diego Orlando Gonzalez		FECHA DE REVISION 10/ DE ABRIL / DEL 2018				Departamento: UNIDAD DE SERVICIOS PUBLICOS		
Descripción del Equipo	Función del Equipo	Modo de Falla	Efecto de la Falla	Causa de la Falla	Situación Actual					Acciones recomendadas	Responsable
					Acciones Actuales	O C U R	S E V E	D E T E	NPR		
Soplador de desplazamiento positivo	Suministro de oxígeno disuelto en aire para mantener vivas las bacterias que descomponen la materia orgánica	Correas destencionadas	perdida de eficiencia del equipo, ruido y mayor desgaste de las correas	desalineamiento, desgaste en correas	cambiar correa cuando falle	7	4	5	140	revisión de tensión semanal, desgaste y alineación cada 500 horas	Técnico mecánico, Operario
		obstrucción de filtro de succión	sobrecarga en el equipo	calidad baja del aire, contiene insectos	cambiar a falla	6	5	8	240	cambio de filtro cada 1000 horas	Operario
		falla de rodamientos	recalentamiento, vibraciones, parada de equipo	falta ó exceso de lubricación, correas muy tensionadas	cambiar a falla	5	7	6	210	Inspección, revisión visual y engrase semanal	Técnico mecánico, Operario
		desgaste de engranajes	ruido excesivo, recalentamiento, vibraciones	sobre carga, mala lubricación, aceite contaminado	cambiar cuando falle	4	7	8	224	Inspección diaria del nivel de aceite y cambiarlo cada 2000 horas	Técnico mecánico, Operario

Fuente: Autor del proyecto

### 5.4.1.2 Evaluación de AMEF para motores eléctricos

Tabla 9. Evaluación de AMEF para motores eléctricos

AMEF MOTORES ELECTRICOS											
AMEF DE: <input type="checkbox"/> Sistema <input checked="" type="checkbox"/> Equipo		ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA							Gerencia: ALCALDE		
Proveedor afectado		Descripción	Ingeniero: Diego Orlando Gonzalez		FECHA DE REVISION 10/ DE ABRIL / DEL 2018				Departamento: UNIDAD DE SERVICIOS PUBLICOS		
Descripción del Equipo	Función del Equipo	Modo de Falla	Efecto de la Falla	Causa de la Falla	Situación Actual					Acciones recomendadas	Responsable
					Acciones Actuales	O C U R	S E V E	D E T E	NPR		
Motor eléctrico de soplador	Proporcionar la potencia necesaria para los sopladores de aireación	borneras sulfatadas	maquina no arranca	humedad excesiva, falta de limpieza	reemplazar	6	4	6	144	desulfatar y revisar sello hermético mensualmente	Técnico mecánico, Operario
		bobinado cortocircuitado	quema de bobinado	sobre carga del equipo, humedad	cambiar motor	5	5	8	200	revisar tensión de las correas diariamente, revisión de aislamiento cada 6000 horas	Técnico mecánico, Operario
		falla de rodamientos	recalentamiento, vibraciones, parada de equipo	correas sobretensionadas, sobrecarga del motor, deterioro del lubricante	cambiar motor	6	7	5	210	Inspección, revisión visual diaria y cambio de rodamientos cada 5000 horas	Técnico mecánico, Operario

Fuente: Autor del proyecto



### 5.4.1.3 Evaluación de AMEF para bombas sumergibles

Tabla 10. Evaluación de AMEF para bombas sumergibles

AMEF BOMBAS SUMERGIBLES											
AMEF DE:		ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA						Gerencia: ALCALDE			
<input type="checkbox"/> Sistema <input checked="" type="checkbox"/> Equipo		AMEF N° 002						Departamento: UNIDAD DE SERVICIOS PUBLICOS			
Proveedor afectado		Descripción	Ingeniero: Diego Orlando Gonzalez		FECHA DE REVISION						
					10/ DE ABRIL / DEL 2018						
Descripción del Equipo	Función del Equipo	Modo de Falla	Efecto de la Falla	Causa de la Falla	Situación Actual					Acciones recomendadas	Responsable
					Acciones Actuales	O C U R	S E V E	D E T E	NPR		
Bombas de aguas negras y traspaso de lodos	Traspaso de aguas negras y lodos del tanque de llegada a los demás procesos	cortocircuito en el bobinado	bobinado quemado	sobre carga del equipo, humedad	cambio de bomba	5	6	8	240	revisión de la integridad de los empaques y cambiar cada 1000 horas	Técnico mecánico, Operador
		impulsor atascado	perdida funcionalidad del equipo	desechos en aguas residuales	desmonte y envío a reparación	6	5	6	180	inspección y limpieza de elementos en el impulsor cada 1000 horas	Técnico mecánico, Operador
		falla de rodamientos	recalentamiento, vibraciones, parada de equipo	bajo nivel de aceite, aceite contaminado	desmonte y envío a reparación	6	8	6	288	verificar estado y nivel de aceite cada 1000 horas y cambio de aceite cada 2000 horas	Técnico mecánico, Operador

Fuente: Autor del proyecto

### 5.4.1.4 Evaluación de AMEF para compresor

Tabla 11. Evaluación de AMEF para compresor

AMEF COMPRESOR											
AMEF DE:			ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA						Gerencia: ALCALDE		
<input type="checkbox"/> Sistema		<input checked="" type="checkbox"/> Equipo	AMEF N° 004						Departamento: UNIDAD DE SERVICIOS PUBLICOS		
Proveedor afectado		Descripción	Ingeniero: Diego Orlando Gonzalez		FECHA DE REVISION						
					10/ DE ABRIL / DEL 2018						
Descripción del Equipo	Función del Equipo	Modo de Falla	Efecto de la Falla	Causa de la Falla	Situación Actual					Acciones recomendadas	Responsable
					Acciones Actuales	O C U R	S E V E	D E T E	NPR		
Compresor de servicios auxiliares	Suministro de aire a presión para uso de herramientas y actuación de componentes	fuga de aceite	contaminación, aceite sobre tanque de almacenamiento	empaques rotos, vibración	limpiar aceite derramado	5	4	6	120	inspección diaria en busca de fugas, cambiar empaques cuando se requiera	Técnico mecánico, Operario
		agua en las líneas de aire	daño a herramientas y equipos neumáticos	humedad del ambiente elevada	purgar cuando se detecta	6	7	5	210	purga diaria antes de empezar la jornada laboral	Operario
		correas destencionadas	perdida de potencia y desgaste excesivo en correas	sobrecarga del equipo, desalineación de poleas	cambiar a falla	6	5	5	150	revisión de alineamiento y tensión semanal	Técnico mecánico, Operario
		desgaste de engranajes	ruido excesivo, recalentamiento, vibraciones	sobre carga, mala lubricación, aceite contaminado	cambiar cuando falle	4	7	8	224	inspección de nivel de aceite diaria y cambio cada 500 horas de servicio	Técnico mecánico, Operario

Fuente: Autor del proyecto

### 5.4.1.5 Evaluación de AMEF para Generador

Tabla 12. Evaluación de AMEF para Generador

AMEF GENERADOR											
AMEF DE: <input type="checkbox"/> Sistema <input checked="" type="checkbox"/> Equipo			ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA						Gerencia: ALCALDE		
Proveedor afectado		Descripción	Ingeniero: Diego Orlando Gonzalez			FECHA DE REVISION 10/ DE ABRIL / DEL 2018			Departamento: UNIDAD DE SERVICIOS PUBLICOS		
Descripción del Equipo	Función del Equipo	Modo de Falla	Efecto de la Falla	Causa de la Falla	Situación Actual					Acciones recomendadas	Responsable
					Acciones Actuales	O C U R	S E V E	D E T E	NPR		
Generador de emergencia	Suministro de energía para el funcionamiento de la planta cuando se requiera	obstrucción de inyectores	Paro del motor	mala calidad del combustible, contaminantes e impurezas	Ninguna	4	9	6	216	cambio de filtro de combustible cada 250 horas, adecuación de Trampas de combustible	Técnico mecánico, Operario
		obstrucción y dificultad para el ingreso de aire	mezcla no equilibrada aire-combustible, ahogo del motor, baja potencia	filtro de aire obstruido	Cambio de Filtro de aire cuando ocurre la falla	7	6	7	294	cambio de filtro de aire cada 250 horas	Técnico mecánico, Operario
		Recalentamiento del motor	Mal funcionamiento del motor, desgaste exagerado de componentes	aceite contaminado, filtro de aceite obstruido	cambio a falla	6	7	6	252	cambiar aceite y filtro de aceite cada 250 horas	Técnico mecánico, Operario

Fuente: Autor del proyecto

5.4.1.6 Evaluación de AMEF para bomba dosificadora

Tabla 13. Evaluación de AMEF para Bomba dosificadora

AMEF BOMBA DOSIFICADORA DE CLORO											
AMEF DE: <input type="checkbox"/> Sistema <input checked="" type="checkbox"/> Equipo		ANALISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA							Gerencia: ALCALDE		
Proveedor afectado		Descripción	Ingeniero: Diego Orlando Gonzalez		FECHA DE REVISION			Departamento: UNIDAD DE SERVICIOS PUBLICOS			
					10/ DE ABRIL / DEL 2018						
Descripción del Equipo	Función del Equipo	Modo de Falla	Efecto de la Falla	Causa de la Falla	Situación Actual					Acciones recomendadas	Responsable
					Acciones Actuales	O C U R	S E V E	D E T E	NPR		
Bomba dosificadora de cloro	Dosificación del cloro al proceso de desinfección	daño en cheques	perdida de presión en descarga	cloro con impurezas	Ninguna	3	7	7	147	Disolver tabletas de cloro, instalación filtro de succión, cambiar cheques cada 2000 horas	Operario
		ruptura del diafragma	pérdida parcial o total de descarga	sobrecarga de la bomba	reparación de avería	4	6	8	192	Cambio de diafragma cada 2000 horas	Técnico mecánico, Operario
		fuga de químico	contaminación al ambiente	ruptura de empaquetadura	Ninguna	8	6	3	144	Cambio de empaquetadura cada 1000 horas y revisión visual diaria	Técnico mecánico, Operario

Fuente: Autor del proyecto

## 5.5 ELABORACIÓN DE FORMATOS Y HOJAS DE VIDA

Se elaboraron los formatos necesarios para la implementación del plan de mantenimiento programado, que a su vez sirven para la creación de las hojas de vida de la maquinaria.

La administración municipal en cabeza del señor alcalde Fredy Higuera Márquez, señaló la importancia que tiene para la alcaldía el soporte técnico e histórico que se puede tener con las hojas de vida de la maquinaria, fomentando la transparencia al presentar estos registros ante los entes gubernamentales en investigaciones del orden cotidiano.

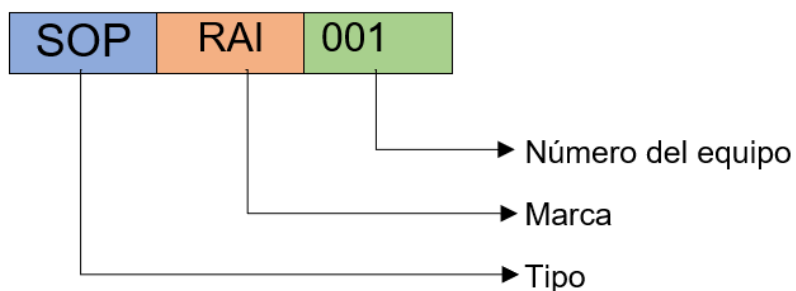
Para la elaboración de formatos, identificación de los equipos y mejor entendimiento del plan de mantenimiento es necesario realizar la codificación de equipos.

### 5.5.1 Codificación de los equipos

Dentro de todo proceso o empresa que maneje equipos es obligatorio contar con una buena codificación que ayuden a identificar un equipo respecto a los demás su ubicación y a que etapa del proceso pertenece si es el caso, esto se hace con la asignación de valores alfanuméricos que permiten anexar mayor información sin requerir extensas descripciones.

Para el caso de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Nunchía se discutió este tema con el operador, y se llegó a un acuerdo mutuo para que la codificación fuera sencilla y de fácil entendimiento, como se muestra en la **Figura 13.:**

Figura 13. Sistema de codificación



Fuente: Autor del proyecto

### 5.5.1.1 Codificación del tipo de maquinaria

Para definir el código para cada tipo de máquina existente en la planta de tratamiento (PTAR), se tomarán las tres primeras letras del nombre de cada máquina, como se muestra en la **Tabla 14**:

**Tabla 14.** Codificación del tipo de máquina

TIPO DE MAQUINA	CODIGO
SOPLADOR	SOP
MOTOR	MOT
COMPRESOR	COM
BOMBA	BOM
GENERADOR	GEN

Fuente: Autor del proyecto

### 5.5.1.2 Codificación de la marca

Para la codificación de la marca también se tomaron las tres primeras letras del nombre de la marca del equipo quedando con la siguiente asignación, ver **Tabla 15**:

**Tabla 15.** Codificación de la marca

MARCA	CODIGO
U-RAI	RAI
SIEMENS	SIE
SARGO	SAR
PERKINS	PER
PEDROLLO	PED
PULSATRON	PUL
BARNES	BAR

Fuente: Autor del proyecto

### 5.5.1.3 Número de equipo

Este hace referencia al número de máquinas existentes de determinado tipo y marca en la planta, los códigos serán separados por un guion medio después de cada ítem, (Tipo de máquina – Marca - Número), así el significado del código de la (figura 7), SOP-RAI-001 describe:

**SOP:** Soplador  
número 1

**RAI:** U-RAI

**001:** El

Es una maquina tipo **SOPLADOR**, de marca **U-RAI**, la número **001** en su tipo.

Tabla 16. Codificación de cada equipo

EQUIPO	SERIAL/MODELO	CODIGO
SOPLADOR U-RAI	68 U-RAI	SOP-RAI-001
SOPLADOR U-RAI	68 U-RAI	SOP-RAI-002
MOTOR ELECTRICO SIEMENS	1LA7 164-4YA70	MOT-SIE-001
MOTOR ELECTRICO SIEMENS	1LA7 164-4YA70	MOT-SIE-002
COMPRESOR SARGO	1122415	COM-SAR-001
GENERADOR PERKINS 30KW	137626/1	GEN-PER-001
BOMBA SUMERGIBLE LODOS	CDBC2080326	BOM-PED-001
BOMBA SUMERGIBLE AGUAS NEGRAS	1712291044	BOM-BAR-001
BOMBA SUMERGIBLE AGUAS NEGRAS	1712291044	BOM-BAR-002
BOMBA DOCIFICADORA DE CLORO	C	BOM-PUL-001

Fuente: Autor del proyecto

### 5.5.2 Diseño y elaboración de formatos



Es de vital importancia para las empresas el tener historial y soporte de actividades realizadas en sus equipos para analizar el comportamiento a través del tiempo y tomar buenas decisiones a la hora de intervenir una máquina. Se tienen dos tipos de formatos, los básicos y los de mantenimiento, los básicos son los que se llenan una vez y generalmente son el registro de máquina y ficha técnica o despiece de la misma, y los de mantenimiento donde se registra actividades rutinarias o intervenciones a las maquinas lo que nos sirve como referencia para la toma de decisiones sobre un equipo específico, entre los cuales se tienen: solicitud de servicio, reporte avería, listas de chequeo entre otras.

Para ejemplo utilizaremos la bomba de lodos PEDROLLO BOM-PED-001 los demás formatos debidamente diligenciados para cada uno de los equipos reposan en los anexos del proyecto.

### 5.5.2.1 Formato de registro de maquinaria

Este formato se utiliza para registrar el equipo una vez es ingresado al proceso y en él se encuentran los datos básicos como son: serie, marca, potencia, caudal, costo, fotografía y otras características propias del producto que lo diferencian de los demás y que son la base para la creación de su hoja de vida, ver **Figura 14**.

Figura 14. Formato registro de maquinaria

REGISTRO DE MAQUINARIA								
			<b>UNIDAD DE SERVICIOS PUBLICOS</b> <b>DEPARTAMENTO DE CASANARE</b> <b>MUNICIPIO DE NUNCHIA</b> Versión: 001 pag. 1 de 1					
CARACTERISTICAS								
NOMBRE:	MOTOR ELECTRICO			POTENCIA:	15 KW			
MARCA:	SIEMENS			AREA:	AIREACIÓN			
CODIGO:	MOT-SIE-002			CA PACIAD:	20HP			
N. SERIE:	25000001127			PROVEEDOR:	CONALDE S.A			
MODELO:	1LA7 164-4YA70			FABRICANTE:	SIEMENS			
OTROS DATOS:								
SERVICIOS REQUERIDOS								
<b>AIRE</b>	PRESION:		TEMPER:		HUMEDAD:			
<b>ELECTRICO</b>	VOLTIOS:		AMPERIOS:		HP:	CORRIENTE: AC ____ DC ____		
<b>FLUIDO</b>	PRESION:		CAUDAL:		TEMPER:	TIPO DE FLUIDO:		
ESPECIFICACIONES PARA MOTORES ELECTRICOS								
N.	HP	RPM	V	A	LUBRICACION	MARCA	MODELO	TIPO
1	20	1800	220	56.8		SIEMENS		160 ML
FALLAS RECURRENTES					REPUESTOS E INSUMOS EN ALMACEN			
Conexión de cables sulfatada Borneras sobrecalentadas y se queman Altas vibraciones en el equipo								
Observaciones:								
_____ Elaboro					_____ Reviso			

Fuente: Autor del proyecto



### 5.5.2.2 Formato de componentes principales

Este formato contempla un despiece sencillo en el cual se puede evidenciar las partes principales del equipo facilitando la ubicación de fallas en una pieza específica, también lleva una breve descripción del componente y material de fabricación del mismo, ver **Figura 15**.

Figura 15. Formato componentes principales

DESCRIPCION		IMAGEN DEL DESPIECE
1	CUERPO BOMBA: Acero inoxidable AISI 316L	<p>Fuente imagen: VORTEX.COM</p>
2	BASE: Acero inoxidable AISI 304	
3	RODETE: Tipo VORTEX en acero inoxidable AISI 304	
4	CAJA PORTAMOTOR: Acero inoxidable AISI 304	
5	TAPA MOTOR: Acero inoxidable AISI 304	
6	EJE MOTOR: Acero inoxidable AISI 316L	
7	SELLO MECANICO: En carburo de silicio y grafito	
8	RODAMIENTOS: 6203ZZ / 6203ZZ	
9	CONDENSADOR: 20 $\mu$ f - 450VL	
10	MOTOR ELECTRICO: Monofásico 220V- 60Hz con protección térmica incorporada en el bobinado	
11	CABLE DE ALIMENTACION: Tipo H07RN-F Longitud estándar 10metros	
12	INTERRUPTOR CON FLOTADOR EXTERNO: Solo para versiones monofásicas	
Observaciones:		
_____		_____
Elaboro		Reviso



Fuente: Autor del proyecto

### 5.5.2.3 Formato orden de trabajo (ODT)

Es un documento escrito que la empresa le entrega a la persona que corresponda y que contiene una descripción detallada del trabajo que se debe llevar a cabo. En la orden de trabajo, además de indicarse el lugar y algunos datos personales de quien solicitó la realización del trabajo, se podrá indicar el tiempo que se estima debe durar el trabajo a realizar en el lugar, los materiales que se necesitarán para llevarlo a cabo, los costos aproximados y cualquier otro tipo de contingencia que sea relevante, ver **Figura 16**.

Este formato sirve en la unidad de servicios públicos para registrar el costo de mantenimiento y las fechas en que este se realiza, ya que no se contaba con formatos para este tipo de registros.

Figura 16. Formato orden de trabajo (ODT)

ORDEN DE TRABAJO							
		<b>UNIDAD DE SERVICIOS PUBLICOS</b> <b>DEPARTAMENTO DE CASANARE</b> <b>MUNICIPIO DE NUNCHIA</b> <b>ORDEN DE TRABAJO N° _____</b>					
SOLICITADO POR:		AUTORIZADO POR:					
FECHA:	AÑO	MES	DIA	ASIGNADO A:			
AREA:		FECHA DE ENTREGA:		AÑO	MES	DIA	
EQUIPO:		CODIGO:					
TRABAJO A REALIZAR			REPORTE TECNICO				
MATERIALES UTILIZADOS							
DESCRIPCIÓN		CANTIDAD		VALOR			
VALOR TOTAL DE REPUESTOS:							
MANO DE OBRA							
NOMBRE		TIEMPO (HORAS)		VALOR			
VALOR TOTAL DEL MANTENIMIENTO:		VALOR TOTAL MANO DE OBRA:					
CAUSA DEL SERVICIO DE EMERGENCIA							
LUBRICACION		MAL OPERADA		DAÑO ELECTRICO			
REPUESTO INADECUADO		ACCIDENTAL		DAÑO ELECTRONICO			
DESGASTE POR USO		NEGLIGENCIA		SOBRE CARGA			
MAL REPARADA		FALLA EN OTRO EQ/PO		OTRO			
OBSERVACIONES INTERNAS:							
EJECUTADO POR:		RECIBIDO POR:		VERIFICADO POR:		APROBADO:	
_____		_____		_____		_____	
MECANICO-ELECTRICISTA		SUPERVISOR		OPERARIO		JEFE MANTENIMIENTO	

Fuente: Autor del proyecto

#### 5.5.2.4 Solicitud de servicio

Este formato es la herramienta para la requisición de cualquier servicio a los equipos de la planta, en él se describe porque se requiere dicha intervención, además del estado actual de la máquina y si el tipo de mantenimiento solicitado es correctivo, preventivo u otro si es el caso como se muestra en la **Figura 17**.

Figura 17. Formato Solicitud de servicio



SOLICITUD DE SERVICIO	
 <p><b>UNIDAD DE SERVICIOS PUBLICOS</b>  <b>DEPARTAMENTO DE CASANARE</b>  <b>MUNICIPIO DE NUNCHIA</b>            Solicitud de servicio N° _____</p> 	
MAQUINA:	CODIGO:
FECHA DE SOLICITUD:	HORA DE SOLICITUD:
SOLICITANTE:	AREA:
DIAGNOSTICO (Por que se requiere el servicio):	
<b>ESTADO DE LA MAQUINA</b>	<b>SERVICIO REQUERIDO</b>
FUNCIONANDO: ____	CORRECTIVO: ____
PARADA: ____	PREVENTIVO: ____
HORA DE PARADA: _____	OTRO: _____
REVISADO	REGISTRADO
_____ JEFE INMEDIATO	_____

Fuente: Autor del proyecto

### 5.5.2.5 Informe de avería

Este formato es de vital importancia porque es la herramienta que puede usar el operador una vez detecta anomalía en el funcionamiento de una máquina para reportarla a instancias superiores para revisión o intervención dependiendo de la gravedad de la situación, además este formato contiene un espacio para que el operador describa con sus palabras lo ocurrido ó por qué se requiere el servicio como se muestra en la **Figura 18**.

Figura 18. Formato informe de avería


INFORME DE AVERIA		
 <p>UNIDAD DE SERVICIOS PUBLICOS DEPARTAMENTO DE CASANARE MUNICIPIO DE NUNCHIA Informe de avería N° _____</p> 		
EQUIPO:	MARCA:	FECHA:
CODIGO:	AREA:	HORA:
DESCRIPCION DE LA AVERIA:		
CAUSA DE LA AVERIA:		
RECIBIDO POR:  _____ JEFE INMEDIATO	REPORTADO POR:  _____ OPERARIO	

Fuente: Autor del proyecto

### 5.5.2.6 Formato control de horas

Este formato fue diseñado para llevar el control de horas de servicio de cada uno de los equipos ya que nuestro plan de mantenimiento tiene en cuenta las horas de uso para determinados mantenimientos e intervenciones a las maquinas, allí se registra las horas de uso diarias de los equipos y el acumulado para tener presente cuando se acerque un mantenimiento programado, ver **Figura 19**.

Figura 19. Formato de control de horas



CONTROL DE HORAS DE TRABAJO						
		UNIDAD DE SERVICIOS PUBLICOS DEPARTAMENTO DE CASANARE MUNICIPIO DE NUNCHIA Control horas N° _____				
EQUIPO:			CODIGO:	AREA:		
FECHA			INSPECCIONÓ	HOROMETRO		
DIA	MES	AÑO		INICIAL	FINAL	ACUMULADO
_____ Elaboro			_____ Reviso			

Fuente: Autor del proyecto

### 5.5.2.7 Formato Lista de chequeo

Este fue diseñado para el control y ejecución de actividades de rutina que requieren los equipos, ver **Figura 20**.

Figura 20. Formato lista de chequeo

LISTA DE CHEQUEO DIARIA							
		UNIDAD DE SERVICIOS PUBLICOS					
		DEPARTAMENTO DE CASANARE					
		MUNICIPIO DE NUNCHIA					
OPERADOR:							
FECHA LUNES: DD MM AAA				FECHA SABADO: DD MM AAA			
ITEM	ASPECTO A EVALUAR	LUN	MAR	MIE	JUE	VIE	SAB
1	Revisión visual fugas de aceite en compresor						
2	Purgar el tanque del compresor						
3	Revisar nivel de aceite de transmisión del compresor						
4	Revisar tención de correas del compresor						
5	Inspección de vibraciones a sopladores						
6	Verificar puntos calientes en sopladores						
7	Purgar trampas de combustible del generador						
DESCRIPCIÓN		R= ( REALIZADO)			P= (PENDIENTE)		
OBSERVACIONES:							

Fuente: Autor del proyecto



## 5.6 DISEÑO DEL CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

Teniendo en cuenta los modos de falla encontrados en los catálogos del fabricante y los resultados del análisis de modo y efecto de falla (AMEF) realizado en campo se establece el siguiente cronograma de actividades de mantenimiento donde se contempla revisión, cambio y/o remplazo.

Para esta etapa del proyecto se crearon dos cronogramas de actividades, semestral ver **Tabla 17**, y otro cronograma de actividades basado en horas de servicio de la maquina ver **Tabla 18**.

### 5.6.1 Programación de mantenimiento semestral

Tabla 17. Programa de mantenimiento semestral

PROGRAMACION DE MANTENIMIENTO SEMESTRAL																											
		UNIDAD DE SERVICIOS PUBLICOS DEPARTAMENTO DE CASANARE MUNICIPIO DE NUNCHIA PROGRAMACION SEMESTRAL																									
		MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5									
EQUIPO	ACTIVIDAD	ASIGNADO	TIPO	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
COMPRESOR SARGO DE 5HP	Revisión visual fugas de aceite	OP	R	█																							
	Purgar el sistema	OP	P	█																							
	Revisar nivel de aceite	OP	R	█																							
	Revisar tensión de correas	OP	R	█																							
SOPLADORES 68 U-RAI	Inspección de vibraciones	OP	I	█																							
	Verificar puntos calientes	OP	R	█																							
GENERADOR	Purgar trampas de combustible			█																							
	Agregar actividad																										
	Agregar actividad																										
SOPLADORES 68 U-RAI	Revisar alineación correas	TEM	C	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
	Engrase y revisión	OP	R	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
BOMBA CLORO	Limpieza filtro succión cloro	OP	L	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
	Agregar actividad																										
	Agregar actividad																										
MOTORES SIEMENS	Desulfatar	ESP	L	█				█					█					█					█				
	Revisar sello hermético	TEM	R	█				█					█					█					█				
TODOS	Limpieza general a equipos	OP	L	█				█					█					█					█				
	Agregar actividad																										
	Agregar actividad																										
				R: REVISIÓN    L: LIMPIEZA    I: INSPECCIÓN    P: PURGAR    C: CALIBRAR █ ESP: ESPECIALIZADO    █ TEM: TECNICO MECANICO    █ OP: OPERARIO																							

Fuente: Autor del proyecto



## 5.6.2 Programación del mantenimiento basado en horas de servicio

Tabla 18. Cronograma de actividades basado en horas de servicio

PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO BASADO EN HORAS DE SERVICIO									
EFECTUE LA RESPECTIVA ACTIVIDAD A CADA INTERVALO DE HORAS DE FUNCIONAMIENTO			250 H DE SERVICIO	500 H DE SERVICIO	1000 H DE SERVICIO	2000 H DE SERVICIO	4000 H DE SERVICIO	5000 H DE SERVICIO	6000 H DE SERVICIO
EQUIPO	ELEMENTO	ACTIVIDAD							
BOMBA DOCIFICADORA DE CLORO	CHEQUES	CAMBIAR				•			
	DIAFRAGMA	CAMBIAR				•			
	EMPAQUES	CAMBIAR			•				
	RODADURAS	CAMBIAR					•		
GENERADOR PERKINS 30 KW	FILTRO COMBUSTIBLE	CAMBIAR	•						
	FILTRO DE AIRE	CAMBIAR	•						
	FILTRO DE ACEITE	CAMBIAR	•						
	ACEITE DE MOTOR	REEMPLAZAR	•						
	REFRIGERANTE	REEMPLAZAR		•					
	VALV/INYECTORES	CALIBRAR							•
COMPRESOR SARGO 5HP	ACEITE TRASMISIÓN	REEMPLAZAR		•					
	CORREA	CAMBIAR				•			
	VALVULA SEGURIDAD	PROBAR	•						
SOPLADORES 68 U- RAI	CORREAS	ALINEAR		•					
	FILTRO SUCCIÓN	CAMBIAR			•				
	RODAMIENTOS	CAMBIAR						•	
	ACEITE TRASMISIÓN	REEMPLAZAR				•			
	CORREAS	CAMBIAR					•		
	PERNOS/ANCLAJES	AJUSTAR		•					
BOMBAS SUMERGIBLES DE LODOS	EMPAQUETADURA	CAMBIAR			•				
	IMPULSOR	LIMPIEZA			•				
	ACEITE	REVISAR NIVEL			•				
	ACEITE	REEMPLAZAR				•			
	SELLO MECANICO	CAMBIAR					•		
	BOBINADO	REVISAR AISLAMIENTO							•
MOTORES ELECTRICOS SIEMESN 20HP	RODAMIENTOS	CAMBIAR						•	
	BOBINADO	REVISAR AISLAMIENTO						•	
	SELLOS	CAMBIAR						•	

Fuente: Autor del proyecto

## 5.7 SOCIALIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO EN PLANTA

Se realizó una charla de socialización del plan de mantenimiento al operador de la planta, en donde se capacito al señor Edgar Rodríguez en el proceso de implementación del plan de mantenimiento para la planta y los lineamientos que se deben seguir para dar total cumplimiento de las actividades propuestas, el conocimiento y ventajas de la codificación de los equipos, importancia y uso de los formatos básicos y de mantenimiento, y cuando usar cada uno de ellos. De lo anterior se anexa certificado aprobado por el director técnico del proyecto, Secretario de planeación y Obras Públicas del municipio, ver **Figura 21.**, también se anexa lista de asistencia, ver **Figura 22.**, y registro fotográfico mostrado en la **Figura 23 y Figura 24.**

### 5.7.1 Certificado socialización del plan de mantenimiento

Figura 21. Certificado de la Socialización

	SISTEMA DE GESTION DOCUMENTAL	CODIGO:DA 0100.16.02		
	GUIA DOCUMENTAL	FECHA: 05-01-2015	VERSION: 01	

**EL SECRETARIO DE PLANEACION Y OBRAS PUBLICAS**

**CERTIFICA**

Que el pasante de ingeniería mecánica **ARLEY MAURICIO PERILLA ROMERO**, identificado con cedula número, 1.118.542.044 de Yopal; socializó el plan de mantenimiento programado para la Planta de Tratamiento Aguas Residuales (PTAR) del Municipio de Nunchía, al operador de la planta y demás personal interesado el día 16 de Mayo del presente año. Para constancia se anexa lista de asistencia a dicha capacitación.

La anterior certificación es expedida a solicitud del interesado, a los (16) días del mes de mayo del año dos mil dieciocho (2018).

Atentamente.

  
**DIEGO ORLANDO GONZALEZ ROA**  
Secretario de Planeación y Obras Públicas  
Email: [secplaneacionyobras@nunchia-casanare.gov.co](mailto:secplaneacionyobras@nunchia-casanare.gov.co)  
Celular No. 3112171849.

---

Palacio Municipal Cra 5 # 7-44 Parque Principal \* Telefax 635 20 10 \* Nunchía – Casanare  
<http://www.nunchia-casanare.gov.co>  AlcaldíaNunchía  AlcaldíaNunchía  
Email: [despachoalcalde@nunchia-casanare.gov.co](mailto:despachoalcalde@nunchia-casanare.gov.co)



Fuente: Autor del proyecto

### 5.7.3 Registro fotográfico de la socialización del proyecto

Figura 23. Registro fotográfico de socialización del proyecto



Fuente: Autor del proyecto

Como una segunda etapa de la socialización y para mayor claridad del proceso se hace entrega al operador de carpeta con hojas de vida de cada uno de los equipos y formatos de mantenimiento como Reporte de avería, Solicitud de servicio, Ordenes de trabajo y listas de chequeo diarias. De lo anterior se anexa registro fotográfico como evidencia del trabajo realizado.

#### 5.7.4 Registro fotográfico segunda etapa de la socialización.

**Figura 24. Registro fotográfico de socialización en planta**



Fuente: Autor del proyecto

## **7. RESULTADOS**

Se diseñó plan de mantenimiento programado para los equipos de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Nunchía, mediante cronograma de actividades donde se definen fechas de intervención y tareas a realizar sobre los equipos.

Con la aplicación del análisis de modo y efecto de falla a cada tipo de maquinaria existente en la planta, se identificaron los posibles modos de falla, se calculó el número de prioridad de riesgo(NPR) y se sugirió actividades para la disminución del mismo.

Se socializo plan de mantenimiento al operador de la planta con la aprobación de la administración municipal en nombre del secretario de planeación y obras públicas del municipio.

Se diseñaron formatos básicos y de mantenimiento según la información requerida para los equipos encontrados, sus recursos y valoraciones.

## **8. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

El plan elaborado es un avance para la optimización de recursos por parte de la unidad de servicios públicos, porque permitirá a corto plazo reducir costos por servicios extra generados por paradas de emergencia y podrá proyectar sus recursos en la compra previa de repuestos y pago de mano de obra dentro de las fechas establecidas en el cronograma.

El análisis de modo y efecto de falla realizado a los equipos de la planta permite identificar los siguientes modos de falla con un numero de prioridad de riesgo mayor a 200: falla en rodamientos de los motores eléctricos, cortocircuito en el bobinado y falla en rodamientos de las bombas sumergibles, obstrucción del filtro de succión, falla en engranajes y rodamientos en los sopladores; agua en líneas de servicio y desgaste de engranajes en el compresor, recalentamiento del motor, obstrucción de inyectores y filtro de aire del generador. A partir de estos modos de falla se enfocaron las tareas de mantenimiento para lograr la disminución del NPR.

Con la socialización del plan de mantenimiento se garantizó la claridad en la codificación de los equipos, el uso correcto de los formatos y el cumplimiento de cada una de las actividades propuestas en el cronograma de actividades.

La creación de los formatos para el registro y soportes de mantenimiento permite actualmente llevar historial del comportamiento de los equipos complementando las hojas de vida de cada máquina, siendo el soporte para la toma de decisiones acertadas o la implementación de avanzados planes de mantenimiento.

## **9. CONCLUSIONES**

La inexistencia de registros e historial de los equipos representa un reto para el diseño de programas de mantenimiento, hoy en día la planta de tratamiento de aguas residuales cuenta con los formatos suficientes para llevar control y registro de estas actividades y facilitar la toma de decisiones en futuros y avanzados programas de mantenimiento.

La inversión económica y deterioro de los equipos que puede generar el no tener un programa de mantenimiento definido en una planta de tratamiento de aguas residuales conlleva a que su operación deje de ser sostenible para las entidades administrativas generando gastos excesivos de funcionamiento y finalmente el cierre definitivo.

Cabe resaltar que a nivel personal la experiencia de la práctica empresarial fue muy enriquecedora, y los conceptos aprendidos en el proceso de formación fueron aplicados de la mejor manera, llevando el proyecto a feliz término.

## **10.RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS**

Es importante que la Unidad de servicios públicos este comprometida con la ejecución de las actividades propuestas en el análisis de modo y efecto de falla, y luego de dar cumplimiento a estas labores se debe actualizar y retroalimentar el (AMEF) para comprobar el comportamiento del número de prioridad de riesgo.

Se requiere compromiso desde la Gerencia hasta el Operador de planta, en el adecuado cumplimiento del cronograma de actividades propuestas, y a tener sentido de pertenencia hacia los equipos de la planta; “Aunque la administración se renueva cada cuatro años los equipos seguirán prestando el servicio a futuras administraciones” de allí la importancia de hacer un buen trabajo y dejar registro en las hojas de vida de las maquinas.



## 11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCALDÍA DE NUNCHÍA. (2017). *PROGREASO PARA NUNCHÍA*. Obtenido de <http://www.nunchia-casanare.gov.co/Paginas/default.aspx>
- Alvarez, R. (2010). *Ingeniería de Mantenimiento*. Obtenido de <http://ingenierademantenimiento.blogspot.com.co>
- BARNES. (2018). *Bombas Aguas Residuales NE*. Obtenido de <http://www.barnes.com.co/aguas-residuales-ne/>
- Chaparro, F. (29 de agosto de 2017). *MOBIUS*. Obtenido de <http://mobius.net.co/que-es-una-ptar/>
- CPS GENERATORS, .. (2018). *Constant Power Solutions Ltd*. Obtenido de <http://www.cps-generators.com>
- Garrido, S. G. (2003). *ORGANIZACIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DEL MANTENIMIENTO*.
- Gutiérrez, A. M. (2009). *MANTENIMIENTO, Planeación, ejecución y control*.
- Holguín, D. M. (2017). Comparación de metodologías para la gestión. *Revista Ciencias Estratégicas*, 319-338.
- Kaeser, J. (1 de Abril de 2017). *SIEMENS*. Obtenido de <https://www.siemens.com/global/en/home.html>
- López, B. S. (2016). *INGENIRIA INDUSTRIALONLINE*. Obtenido de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com>
- Nieto. (2009). Historia y evolución del mantenimiento. *TPMONLINE*.
- Palencia, O. G. (2014). En O. Garcia, *Gestión Moderna Del Mantenimiento Industrial*.
- Pedrollo, S. (2015). *PEDROLLO*. Obtenido de <https://www.pedrollo.com.co>
- PULSAFEEDER. (2018). *Bombas Dosificadoras Electrónicas*. Obtenido de [pulsatron.salesmrc.com](http://pulsatron.salesmrc.com)
- Quintero, N. A. (2017). LUBRICACIÓN Y MATENIMIENTO INDUSTRIAL. *REVISTA DIGITAL LATINOAMERICANA*.
- Ramirez, I. (2012). Ventajas y desventajas del mantenimiento predictivo. *kurodabombas*.
- SOLUTIONS, L. (2017). *AMEF, Análisis De Modo Y Efecto De La Falla*. Obtenido de <http://www.leansolutions.co/conceptos/amef/>
- Universal-RAI. (2017). *pdblowers, Inc*. Obtenido de <https://www.pdblowers.com/product/68-roots-urai-blower/>

## **12. ANEXOS**

12.1 ANEXO 1. SOPLADOR SOP-RAI-001

12.2 ANEXO 2. SOPLADOR SOP-RAI-002

12.3 ANEXO 3. MOTOR MOT-SIE-001

12.4 ANEXO 4. MOTOR MOT-SIE-002

12.5 ANEXO 5. BOMBA BOM-BAR-001

12.6 ANEXO 6. BOMBA BOM-BAR-002

12.7 ANEXO 7. BOMBA BOM-PED-001

12.8 ANEXO 8. GENERADOR GEN-PER-001

12.9 ANEXO 9. COMPRESOR COM-SAR-001

12.10 ANEXO 10. BOMBA BOM-PUL-001