

**TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA  
INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL



**TEC** | Tecnológico  
de Costa Rica

**“Diseño de un Modelo Integrado de Gestión de Mantenimiento y Riesgo aplicado al mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Agua Residuales (PTAR) “Los Tajos” en Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, AyA.”**



Informe de Práctica de Especialidad para optar por el título de Ingeniero en  
Mantenimiento Industrial con el grado académico de Licenciatura.

Christian Andrés Vega Ramírez

Cartago, Agosto 2019



Carrera Evaluada y Acreditada por el  
Engineering Canadian Accreditation Board  
(ECAB)

CARTA DE ENTENDIMIENTO

Fecha: Lunes 19 de Agosto, 2019

Señores  
Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Sistema de Bibliotecas del Tecnológico

Yo Christian Andrés Vega Ramírez

carné No. 201021706,  si autorizo  no autorizo, al Sistema de Bibliotecas del Tecnológico (SIBITEC), disponer del Trabajo Final de graduación, del cual soy autor, para optar por el grado de Licenciatura, en la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Industrial, presentado en la fecha 19/08/2019, con el título "Diseño de un Modelo Integrado de Gestión de Mantenimiento y Riesgo aplicado al mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) "Los Tajos", en Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, AyA."

para ser ubicado en el Repositorio Institucional y Catálogo SIBITEC, con el objetivo de ser visualizado a través de la red Internet.

Firma de estudiante: 

Correo electrónico: chris05vega@gmail.com

Cédula No.: 503840495

**Profesor tutor:**

Ing. Gilbert Bonilla Castillo

**Asesor industrial:**

Ing. Nicolás Mora Castro

**Tribunal examinador:**

Ing. Carlos Piedra Santamaría

Ing. Joshua Guzmán Conejo

## INFORMACIÓN DEL ESTUDIANTE

**Nombre:** Christian Andrés Vega Ramírez

**Cédula:** 5 0384 0495

**Carné Estudiantil:** 201021706

**Residencia en época lectiva:** Urbanización Iztarú, 200 m. Oeste, 200 m. Norte y 50m Oeste de la entrada principal del Tecnológico de Costa Rica, Los Ángeles, Cartago.

**Residencia en época no lectiva:** Invu las Cañas; Residencial La Giralda, frente al kínder San Fernando, Alajuela, Costa Rica.

**Teléfono:** (506) 8526-5292

**Correo electrónico:** [chris05vega@gmail.com](mailto:chris05vega@gmail.com)

## INFORMACIÓN DEL PROYECTO

**Nombre del proyecto:** “Diseño de un Modelo Integrado de Gestión de Mantenimiento y Riesgo aplicado al mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Agua Residuales (PTAR) "Los Tajos" en Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, AyA.”

**Profesor tutor:** Gilbert Bonilla Castillo

**Horario de trabajo:** Lunes a viernes de 8am a 5pm

## INFORMACIÓN DE LA EMPRESA

**Nombre:** PTAR Los Tajos; Instituto de Acueductos y Alcantarillados, AyA

**Tipo:** Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

**Dirección:** La Uruca, San José, Costa Rica.

**Teléfono:** 2543 6601 ext. 6611

**Actividad principal:** Tratamiento Primario de Aguas Residuales.

## DEDICATORIA

A mi madre y a mi padre por siempre ayudarme a cumplir mi sueño, gracias por la educación, por los consejos y valores. A mis hermanos por apoyarme y a mi novia e hija que llegaron en el mejor momento a darme felicidad e impulso para vivir y seguir adelante.

Querida familia, gracias de verdad por apoyarme siempre, creer en mí y sobre todo nunca dejarme desistir.

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco al Tecnológico de Costa Rica por darme la oportunidad de formar parte de esta comunidad estudiantil, gracias a sus profesores por la enseñanza, consejos y paciencia; a mi profesor tutor Gilbert Bonilla por la ayuda brindada en este proceso. A todos los compañeros y amigos de estudio que me acompañaron durante años y formaron parte de mi superación personal y de quienes aprendí.

Agradezco al AyA por abrirme las puertas y dejarme demostrar mis habilidades, a mis asesores industriales, a Nicolás Mora por la ayuda brindada. A los ingenieros Miguel Araya y Raúl Calvo y a todos los técnicos porque sin su ayuda no hubiese podido desarrollar de manera tan satisfactoria este proyecto.

A todas esas personas que de manera directa o indirecta me apoyaron siempre durante mi paso por el Tecnológico y nunca me abandonaron en este largo proceso, esto es por ustedes y gracias por todo.

## TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	14
ÍNDICE DE FIGURAS	15
INTRODUCCIÓN	20
Introducción	20
Problema y Situación Actual	21
Justificación del proyecto	24
Objetivos	26
Objetivo General	26
Objetivos Específicos	26
CAPÍTULO 1	28
MARCO EMPRESARIAL	28
1.1 Reseña histórica del AyA	28
1.2 Misión	29
1.3 Visión	32
1.4 Objetivos Estratégicos del AyA	32
1.4.1 Financieros	32
1.4.2 Procesos internos	32
1.4.3 Capacidad Organizacional	33

1.5 Proyecto de Mejoramiento Ambiental del Área Metropolitana de San José (Informe final de Gestión AyA 2014-2018)	29
1.5.1 Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales (PNSAR, 2014-2018)	30
1.6 PTAR Los Tajos, I Etapa: Tratamiento Primario	33
1.6.1 Objetivos y propósitos de la PTAR (AyA, 2015)	34
1.7 Estructura organizacional PTAR Los Tajos	35
1.8 Descripción del proceso de la PTAR Los Tajos, Etapa I Tratamiento Primario de Aguas Residuales (Toma #1. Acciona Agua-AyA)	36
1.8.1 Línea de Agua	36
1.8.2 Línea de Lodos	37
1.8.3 Línea de Gas y Recuperación de Energía	38
1.8.4 Desodorización de las áreas y secciones	39
1.8.5 Diagrama de Flujo de la Etapa I	40
CAPÍTULO 2	41
MARCO TEÓRICO	41
2.1 Modelo de gestión de mantenimiento.	41
2.1.1 Proceso de Gestión de Mantenimiento	41
2.1.2 Estrategias de Mantenimiento	42
2.1.3 Etapas para el desarrollo de un Modelo de Gestión de Mantenimiento.	45



2.1.4 Ingeniería y Gestión de Mantenimiento: Ciclo de Mejora Continua	46
2.2 Indicadores de mantenimiento	48
2.2.1 CMI: Cuadro de Mando Integral	48
2.2.1.1 Perspectivas principales del CMI	49
2.2.1.2 Etapas para la elaboración de un CMI	53
2.2.1.3 Selección adecuada de los indicadores	56
2.2.2 Indicadores	57
2.2.2.1 Disponibilidad	57
2.2.2.2 Gasto de compra de repuestos	57
2.2.2.3 Tiempo medio entre fallos (MTFB)	57
2.2.2.4 Tiempo medio de reparación (MTTR)	58
2.2.2.5 Porcentaje de mantenimiento correctivo	58
2.2.2.6 Porcentaje de cumplimiento de mantenimiento planificado	58
2.2.2.7 Porcentaje de entrenamientos realizados	58
2.3 Método de análisis de criticidad y jerarquización de activos físicos	59
2.3.1 Modelo de Criticidad Semicuantitativo “CTR” (Criticidad Total por Riesgo)	60
2.4 Análisis y Gestión de Riesgos	63
2.4.1 Auditoría de Riesgos: Identificando y Documentando los Riesgos	64
2.4.2 Análisis del riesgo	64

2.4.3 Tratamiento del riesgo	65
2.4.4 Modelo de Gestión de Riesgos para activos	66
2.5 TRICOM: software para el control del mantenimiento	67
2.5.1 Diagrama de Funcionamiento	69
2.6 Plan o programas de mantenimiento	71
CAPÍTULO 3	72
MARCO METODOLÓGICO	72
3.1 Situación actual	72
3.1.1 Auditoría Norma MES	73
3.1.2 Levantamiento de equipos	75
3.2 Desarrollo del Modelo de Gestión de Mantenimiento	75
3.2.1 Etapa I	76
3.2.2 Etapa II	76
3.3 Jerarquización de los equipos	77
3.3.1 Análisis de Criticidad por metodología CTR (Criticidad Total por Riesgo)	78
3.4 Cuadro de Mando Integral (CMI)	81
3.4.1 Metodología	81
3.5 Evaluación de riesgos	82
3.5.1 Identificación de riesgos	82
3.5.2 Análisis del riesgo	83

3.5.2 Tratamiento de riesgos	83
3.6 Diseño de Planes de Mantenimiento de los equipos	84
3.7 TRICOM: Software para el control de mantenimiento	85
3.6.1 Secciones	86
3.6.2 Áreas	86
3.6.3 Equipos	87
3.6.4 Partes de los Equipos	88
3.6.5 Planes de Mantenimiento	89
3.6.6 Integración de Planes de Mantenimiento	90
3.6.7 Integración de Equipos y Planes de Mantenimiento	92
CAPÍTULO 4	94
ANÁLISIS DEPARTAMENTAL	94
4.1 Situación actual	94
4.2 Resultado de la Auditoría Norma MES	95
4.3 Levantamiento de equipos	95
CAPÍTULO 5	102
MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	102
5.1 Modelo de Gestión en Mantenimiento Propuesto	102
5.2 Cuadro de Mando Integral (CMI)	104
5.2.1 Análisis FODA	104
5.2.2 Definición de objetivos	106
	10

5.2.2.1 Perspectiva Financiera	106
5.2.2.2 Perspectiva Cliente	107
5.2.2.3 Perspectiva Procesos Internos	108
5.2.2.4 Perspectiva de Aprendizaje y Crecimiento	108
5.2.3 Selección de indicadores del CMI	109
5.2.3.1 Perspectiva Financiera	109
5.2.3.1 Perspectiva Cliente	110
5.2.3.1 Perspectiva Procesos Internos	111
5.2.3.1 Perspectiva Aprendizaje y Crecimiento	112
5.3 Clasificación de Equipos y Análisis de Criticidad por metodología CTR (Criticidad Total por Riesgo)	114
5.3.1 Análisis CTR en equipos críticos de alta frecuencia	117
5.3.1.1 Cuchara Bivalva (B)	117
5.3.1.2 Medidor de Caudal entrada de agua (C)	117
5.3.1.3 Reja Gruesos y Finos Desbaste (D y E)	118
5.3.1.4 Tornillo Recogida (F)	118
5.3.1.5 Agitadores Depósito Tampón (H)	118
5.3.1.6 Bomba Vaciados (L)	119
5.3.1.7 Boyas de Nivel Depósito Intermedio (M)	119
5.3.1.8 Ventilador Desodorización (N)	119
5.3.2 Análisis CTR en equipos críticos de media y baja frecuencia	119

5.3.2.1 Estación de Medición de Gases (G)	119
5.3.2.2 Grúa Desarenado (A)	120
5.3.2.3 Tornillo Recogedor a Silo (I)	120
5.3.2.4 Compuerta Silo (J)	120
5.3.2.5 Filtro de Malla Auto limpiante (K)	120
5.3.3 Jerarquía de equipos	121
5.4 Riesgos asociados al mantenimiento	122
5.5 +++Planes de Mantenimiento	130
5.5 +++TRICOM: Control del Mantenimiento	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
CONCLUSIONES	135
RECOMENDACIONES	137
BIBLIOGRAFÍA	138
ANEXOS	141
Anexo 1. Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales, II Eje: "Gestión integrada para el saneamiento de las aguas residuales".	141
Anexo 2. Instructivo para Codificar Instrumentos, Equipos y Cables en la Dirección RyT GAM	144
Anexo 3. Matriz de Tareas Peligrosas PTAR Los Tajos	149
Anexo 4:	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
APÉNDICES	151
A. Levantamiento de equipos	152

B. Cuestionario Norma MES	164
C. Cuadro de Mando Integral (CMI)	173
D. Matriz de criticidad por el método CTR	174
E. Planes de Mantenimiento	213
F. TRICOM: Control del Mantenimiento	219
G.	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
H.	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1.</b> INDICADORES DE MANTENIMIENTO.	51
<b>TABLA 2.</b> PUNTUACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE CALIFICACIÓN NORMA MES	74
<b>TABLA 3.</b> CATEGORÍAS DE CALIFICACIÓN NORMA MES.	74
<b>TABLA 4.</b> FACTORES PONDERADOS DE EVALUACIÓN, DISEÑADOS PARA EL PROCESO DE JERARQUIZACIÓN DE EQUIPOS SEGÚN FRECUENCIA Y CONSECUENCIA DE FALLOS.	79
<b>TABLA 6.</b> LEVANTAMIENTO DE EQUIPOS: RESULTADOS DE EQUIPOS Y PARTES REGISTRADAS ANTES Y DESPUÉS.	96
<b>TABLA 5.</b> RESULTADOS AUDITORÍA NORMA MES EN EL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE LA PTAR LOS TAJOS	98
<b>TABLA 7.</b> OBJETIVOS DE LA PERSPECTIVA FINANCIERA.	106
<b>TABLA 9.</b> OBJETIVOS DE LA PERSPECTIVA PROCESOS INTERNOS.	108
<b>TABLA 10.</b> OBJETIVOS DE LA PERSPECTIVA APRENDIZAJE Y CRECIMIENTO.	108
<b>TABLA 11.</b> OBJETIVOS FINANCIEROS DEL CMI.	109
<b>TABLA 12.</b> OBJETIVOS PARA CLIENTES DEL CMI	110
<b>TABLA 13.</b> OBJETIVOS DE PROCESOS INTERNOS DEL CMI	111
<b>TABLA 14.</b> OBJETIVOS DE APRENDIZAJE Y CRECIMIENTO DEL CMI	112
<b>TABLA 14.</b> CODIFICACIÓN Y RANGOS DE INDICADORES DEL CMI.	113
<b>TABLA 15.</b> RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD CTR EN EL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE LA PTAR LOS TAJOS.	115
<b>TABLA 16.</b> MATRIZ CTR DE EQUIPOS CRÍTICOS DEL PROCESO DE TRATAMIENTO PRIMARIO DE AGUAS RESIDUALES EN LA PTAR LOS TAJOS.	117
<b>TABLA 17.</b> RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD POR CONSECUENCIA MEDIANTE EL MÉTODO CTR EN EL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE LA PTAR LOS TAJOS.	121
<b>TABLA 18.</b> MATRIZ DE TAREAS PELIGROSAS REALIZADAS POR SECCIÓN EN LA PTAR LOS TAJOS.	122
<b>TABLA 19.</b> RANGO DE RIESGOS Y CONSECUENCIAS EN TAREAS PELIGROSAS REALIZADAS EN LA PTAR LOS TAJOS.	130
<b>TABLA 20.</b> HORAS EXTRAS ANUALES ACTUALES VRS PROPUESTA CAMBIO DE HORARIO.	134
<b>TABLA 21.</b> EVALUACIÓN NORMA MES DE RECURSOS GERENCIALES EN PTAR LOS TAJOS.	164
<b>TABLA 22.</b> EVALUACIÓN NORMA MES DE GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN EN PTAR LOS TAJOS.	167
<b>TABLA 23.</b> EVALUACIÓN NORMA MES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y EQUIPOS TECNOLÓGICOS EN PTAR LOS TAJOS.	168
<b>TABLA 24.</b> EVALUACIÓN NORMA MES DE PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN EN PTAR LOS TAJOS.	170
<b>TABLA 25.</b> EVALUACIÓN NORMA MES DE SOPORTE, CALIDAD Y MOTIVACIÓN EN PTAR LOS TAJOS.	171
<b>TABLA 26.</b> MATRIZ DE CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS DE LA PTAR LOS TAJOS.	174

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. INDICADORES DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO, AÑO 2018.....	22
FIGURA 2. IDEAS, CASOS Y SITUACIONES PARA LA DEFINICIÓN DEL PROBLEMA. ....	23
FIGURA 3. INDICADOR: PRESUPUESTO EJECUTADO, DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO, AÑO 2018. ....	25
FIGURA 4. EJES CENTRALES DE LA PNSAR. ....	31
FIGURA 5. VISTA AÉREA DE PTAR LOS TAJOS COSTA RICA URUCA, SAN JOSÉ. ....	34
FIGURA 6. DIRECCIÓN ORGANIZACIONAL PTAR “LOS TAJOS” SEGÚN LA DIRECCIÓN DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE LA GAM (DIR RYT GAM). ....	35
FIGURA 7. DIAGRAMA DE PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE FORMA GRÁFICA. ....	40
FIGURA 8. MODELO PARA LA DEFINICIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO. ....	44
FIGURA 9. MODELO DEL PROCESO DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO. ....	45
FIGURA 10. CICLO PARA MANTENIMIENTO DE MEJORA CONTINUA. ....	47
FIGURA 11. ESTRUCTURA DEL CUADRO DE MANDO INTEGRAL. ....	50
FIGURA 12. MATRIZ DE CRITICIDAD MODELO CTR. ....	63
FIGURA 13. MANEJO EFECTIVO DEL RIESGO (AMENDOLA ET AL., 2005) ....	64
FIGURA 14. ETAPAS EN EL PROCESO DE GESTIÓN DE RIESGOS, SEGÚN LA GUÍA ISO 73. ....	66
FIGURA 15. DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA DE LOS EQUIPOS Y PARTES EN SOFTWARE TRICOM. ....	70
FIGURA 16. VENTANA DE INCLUSIÓN DE SECCIONES. ....	86
FIGURA 17. VENTANA DE INCLUSIÓN DE ÁREAS. ....	87
FIGURA 18. VENTANA DE INCLUSIÓN DE EQUIPOS. ....	88
FIGURA 19. VENTANA DE INCLUSIÓN DE PARTES DE LOS EQUIPOS. ....	89
FIGURA 20. VENTANA DE INCLUSIÓN DE PLANES E INSPECCIONES. ....	90
FIGURA 21. VENTANA DE INTEGRACIÓN DE PLANES DE MANTENIMIENTO. ....	91
FIGURA 22. VENTANA DE INTEGRACIÓN DE DATOS EQUIPOS-PLANES. ....	93
FIGURA 23. DOCUMENTO EXCEL: LEVANTAMIENTO DE EQUIPOS ACTIVOS, PTAR LOS TAJOS. ....	96
FIGURA 24. RESULTADOS AUDITORÍA NORMA MES EN EL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE LA PTAR LOS TAJOS. ....	100
FIGURA 25. ESTRUCTURA DEL MODELO DE GESTIÓN PROPUESTO. ....	102
FIGURA 26. ANÁLISIS FODA DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO DE LA PTAR LOS TAJOS. ....	105
FIGURA 27. MANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LAS REJAS DE GRUESOS Y FINOS-CANAL DE DESBASTE A Y B. ....	131
FIGURA 28. CONTROL DE PRESUPUESTO Y GASTOS OPERATIVOS AÑO 2019. ....	132
FIGURA 29. HORARIO ACTUAL. ....	133
FIGURA 30. COMPONENTES DE LA POLÍTICA, II EJE: GESTIÓN INTEGRADA PARA EL SANEAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. ....	141



FIGURA 31. MODELO DE GESTIÓN Y EVALUACIÓN, II EJE: GESTIÓN INTEGRADA PARA EL SANEAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	143
FIGURA 32. CODIFICACIÓN DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS. ....	144
FIGURA 33. CODIFICACIÓN DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS. ....	145
FIGURA 34. CODIFICACIÓN DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS. ....	146
FIGURA 35. IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DE PROCESOS PTAR LOS TAJOS. ....	148
150	
FIGURA 36. PRESUPUESTO HORAS EXTRA. ....	151
FIGURA 37. LISTADO DE EQUIPOS: DESBASTE .....	152
FIGURA 38. LISTADO DE EQUIPOS: DESARENADO. ....	153
FIGURA 39. LISTADO DE EQUIPOS: DECANTACIÓN.....	154
FIGURA 40. LISTADO DE EQUIPOS: DECANTACIÓN.....	155
FIGURA 41. LISTADO DE EQUIPOS: TAMIZADO.....	156
FIGURA 42. LISTADO DE EQUIPOS: ESPESADO. ....	156
FIGURA 43. LISTADO DE EQUIPOS: HOMOGENIZACIÓN.....	157
FIGURA 44. LISTADO DE EQUIPOS: DIGESTORES. ....	157
FIGURA 45. LISTADO DE EQUIPOS: CALEFACCIÓN.....	158
FIGURA 46. LISTADO DE EQUIPOS: LÍNEA DE GAS. ....	159
FIGURA 47. LISTADO DE EQUIPOS: DESHIDRATACIÓN. ....	160
FIGURA 48. LISTADO DE EQUIPOS: DESHIDRATACIÓN. ....	161
FIGURA 49. LISTADO DE EQUIPOS: SERVICIOS AUXILIARES. ....	162
FIGURA 50. LISTADO DE EQUIPOS: DESODORIZACIÓN.....	163
FIGURA 44. CUADRO DE MANDO INTEGRAL: MATRIZ DE INDICADORES DE MANTENIMIENTO, PTAR LOS TAJOS.....	173
FIGURA 45. PLAN DE MANTENIMIENTO: VENTILADOR DESODORIZACIÓN, PTAR LOS TAJOS.....	214
FIGURA 46. PLAN DE MANTENIMIENTO: COMPUERTA DESCARGA A SILO, PTAR LOS TAJOS. ....	215
FIGURA 47. PLAN DE MANTENIMIENTO: ESTACIÓN DE MEDICIÓN DE GASES, PTAR LOS TAJOS.....	215
FIGURA 48. PLAN DE MANTENIMIENTO: TORNILLO RECOGEDOR CENTRÍFUGAS, PTAR LOS TAJOS.....	216
FIGURA 49. PLAN DE MANTENIMIENTO: GRÚA DESARENADO, PTAR LOS TAJOS. ....	217
FIGURA 50. PLAN DE MANTENIMIENTO: VENTILADOR DESODORIZACIÓN, PTAR LOS TAJOS.....	218
FIGURA 51. INTEGRACIÓN DE DATOS EQUIPO-PLANES.....	219

## RESUMEN

En el año 2015 el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados junto con Acciona Agua, una empresa líder en el sector del tratamiento de agua, inauguró la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (en adelante PTAR) “Los Tajos” con el propósito de asegurar el saneamiento de las aguas residuales del Área Metropolitana de San José y las aguas crudas provenientes del río Torres, como parte del compromiso con la salud y el desarrollo económico y social del país. Con este proyecto se alivia la carga contaminante de los ríos María Aguilar, Tiribí y Torres, beneficiando a más de un millón de personas que habitan en el Gran Área Metropolitana de San José, Costa Rica, alrededor de un %65 de la población de esta provincia. (Acciona-Agua, 2019)

Con el objetivo de fortalecer la gestión integrada de saneamiento de aguas residuales, con este proyecto se pretende diseñar un modelo adecuado para la gestión de mantenimiento en la planta de tratamiento de aguas residuales, de manera que se aprovechen los instrumentos actuales y se considere la PNSAR (Política Nacional de Saneamiento de Aguas Residuales, 2019-2045). Dicho modelo aseguraría el buen funcionamiento de los equipos y sus funciones de acuerdo a los objetivos generales, estrategias y responsabilidades para asegurar el saneamiento de forma comprometida con la salud pública y a favor de los mantos acuíferos, disminuyendo los riesgos para las personas y efectos negativos sobre el medio ambiente.

Con base a la propuesta de modelo de gestión de mantenimiento de C. Parra y sus principales herramientas de apoyo como: el Cuadro de Mando Integral que define los objetivos necesarios, la aplicación de la auditoría de Mantenimiento (MES) que determina la condición actual del Departamento, la implementación del método de criticidad y jerarquización de equipos (CTR) que definen los equipos más críticos que requieren mayor atención y recursos, el uso de Planes de Mantenimiento para plantear acciones proactivas y conservar en condiciones de funcionamiento seguro y eficiente todos los equipos críticos; con el fin de establecer actividades coordinadas para dirigir y controlar la organización con relación al riesgo, fortaleciendo la gestión integrada de saneamiento de aguas residuales.

**Palabras Claves:** Modelo de Gestión de Mantenimiento, Modelo de Gestión de Riesgo, PTAR, Gestión Integral; Criticidad por Riesgo.

## ABSTRACT

In 2015 the Costa Rican Institute of Aqueducts and Sewers together with Acciona Agua, a leading company in the water treatment sector, opened the Wastewater Treatment Plant (hereinafter PTAR) “Los Tajos” with the purpose of ensuring the sanitation of the wastewater of the San José Metropolitan Area and the raw water from the Torres River, as part of the commitment to the country's economic and social health and development. With this project the pollutant load of the María Aguilar, Tiribí and Torres rivers is relieved, benefiting more than one million people living in the Greater Metropolitan Area of San José, Costa Rica, about 65% of its population Province. (Acciona-Agua, 2019)

In order to strengthen the integrated management of wastewater sanitation, this project aims to design an appropriate model for maintenance management in the wastewater treatment plant, so that current instruments are used and PNSAR is considered (National Wastewater Sanitation Policy, 2019-2045). Said model would ensure the proper functioning of the equipment and its functions according to the general objectives, strategies and responsibilities to ensure sanitation in a way committed to public health and in favor of the aquifers, reducing risks to people and negative effects on environment.

Based on the proposed maintenance management model of C. Parra and its main support tools such as: the Balanced Scorecard that defines the necessary objectives, the application of the Maintenance audit (MES) that determines the current condition of the Department, the implementation of the criticality and hierarchy of equipment (CTR) method that defines the most critical equipment that requires more attention and resources, the use of Reliability Based Maintenance (RCM) to detect the failure modes of critical equipment and propose proactive actions through Maintenance Plans; in order to establish coordinated activities to direct and control the organization in relation to risk, strengthening the integrated management of wastewater sanitation.

**Keywords:** Maintenance Management Model, Risk Management Model, PTAR, Integral Management; Criticality for Risk.

## INTRODUCCIÓN

### Introducción

Una moderna Gestión del Mantenimiento es una herramienta que integra una serie de metodologías aplicadas tanto al Departamento de Mantenimiento, como en los demás involucrados; que se ejecutan mediante el seguimiento de una estructura guiada previamente para crear todas aquellas actividades que permitan alcanzar los objetivos de una planta y las prioridades del departamento. (Parra & Crespo, 2015, p2).

Para cumplir con los objetivos y prioridades del departamento, se debe mejorar su organización en busca de la mejora continua, tanto en sus procesos como en procedimientos que se apliquen; para esto se usa un modelo como el Cuadro de Mando Integral, que resuelve tanto la estrategia en un conjunto de objetivos y medidas cuantificables como los problemas de falta de análisis de la información recolectada. Además, el Modelo de Gestión en Mantenimiento involucra la aplicación de auditorías que miden la efectividad de la gestión actual del mantenimiento, mediante el exhaustivo análisis de una variedad de factores que contribuyen como un conjunto (Parra & Crespo, 2015, p5).

Una vez conocida la condición del Departamento de Mantenimiento, se debe evaluar donde es necesario invertir recursos basados en los problemas o deficiencias que la Organización como tal enfrenta. Es decir, a partir de este punto es donde el modelo aplica metodologías como la jerarquización de equipos, análisis de criticidad y evaluación de riesgos, pues permiten identificar la importancia de los activos de una empresa sobre los cuales vale la pena dirigir recursos humanos, económicos y tecnológicos.

El modelo de gestión incorpora estas metodologías en un sistema integral de información, el cual procura contribuir por todos los medios para la toma de decisiones, permitiendo día a día implantar estas estrategias mediante la planeación y programación de las actividades del mantenimiento, llevando un control mediante

indicadores y bases de datos, teniendo siempre en cuenta aquellos aspectos económicos relevantes para la Organización.

## **Problema y Situación Actual**

La ausencia de un modelo de gestión adecuado por parte del Departamento de Mantenimiento de la PTAR, ha hecho que no exista una base sólida en cuanto al cumplimiento de objetivos, estrategias y responsabilidades del servicio de mantenimiento. Todo esto en conjunto hace que el departamento no esté trabajando con los criterios adecuados para el mantenimiento como el análisis de datos y mayor control en las labores diarias.

En la Figura 1 se muestran los indicadores del Departamento de Mantenimiento del año 2018, donde se observa que no se cumple por completo la meta asignada y no existen indicadores que determinen el desempeño de los equipos y/o procesos, y un adecuado manejo de los costos asociados al mantenimiento.

Además, se pueden observar indicadores de suma importancia como: Órdenes de Trabajo y Riesgo con evento, #2 y #5 respectivamente, con valores no deseados, desde el punto de vista del cumplimiento de los objetivos y estrategias del departamento, no solo para el fortalecimiento de la gestión de saneamiento también por la gestión integrada, con el propósito de evitar accidentes, pérdidas humanas y daños al medio ambiente.

Otro argumento importante es que no existen indicadores que determinen el desempeño de los equipos; así como un mal manejo de los inventarios y repuestos, dificultando la ejecución del presupuesto de mantenimiento en casi un 20%. A esto se suma el 52% de OT's no ejecutadas; que, con base en el estudio de bitácoras y documentos, se determina que este número es mayor a 90%, afectadas por la mala gestión de información.

MANTENIMIENTO PTAR LOS TAJOS				
Indicadores		Descripción	Unidad	Total
<b>1 Capacitación del Personal</b>		Horas Anuales del Departamento por año	Horas	
	Meta			543
	Indicador	<u>440</u>		123%
<b>2 Ordenes de Trabajo</b>		Cantidad de O.T efectuadas por año	Und	
	Meta			529
	Indicador	<u>1095</u>		48%
<b>3 Presupuesto Ejecutado</b>		Presupuestos ejecutado vrs el solicitado	Colones	
	Meta			₡ 125,628,033.98
	Indicador	₡ <u>159,025,232.78</u>		79%
<b>4 TAG's En Mantenimineto</b>		Equipos que se ven en mantenimiento	Und	
	Meta			660
	Indicador	<u>645</u>		102%
<b>5 Eventos</b>		Cantidad de Eventos Negativos con efecto	Und	
	Meta			11
	Indicador	<u>10</u>		110%
<b>6 Protocolos Realizados</b>		Equipos que se ven en mantenimineto	Und	
	Meta			7
	Indicador	<u>6</u>		117%

Figura 1. Indicadores del Departamento de Mantenimiento, año 2018.

Fuente: Departamento de Mantenimiento PTAR Los Tajos, AyA, 2019)

Por último, el AyA como institución adquirió, en el año 2005, un software para el Control de Mantenimiento llamado TRICOM, capaz de manejar el mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo, y generar informes e indicadores de clase mundial. Este se puede utilizar y aprovechar en la PTAR para unificar las labores de programación y control de Mantenimiento Preventivo y Predictivo de los equipos en las diferentes áreas y secciones de la planta, mediante un sistema centralizado que permita cumplir con los objetivos como departamento.

Esta situación representa una gran oportunidad para el Departamento de Mantenimiento y la Organización, sin embargo, hasta el momento, no existe la información necesaria para la inclusión de la información en el software capaz de

alinear todas las actividades de mantenimiento con la estrategia definida a nivel táctico y operativo.

Según Chánez (1998), para el planteamiento de un problema se debe contemplar el conocimiento adquirido con anterioridad, con lo cual se debe demostrar una relación entre ideas, casos y situaciones actuales de la planta para lograr realizar un enfoque adecuado a la hora de implementar una solución.

Utilizando la metodología descrita por Chánez (1998), se crea el siguiente esquema de conocimiento de la situación de la planta, la cual se presenta a continuación:

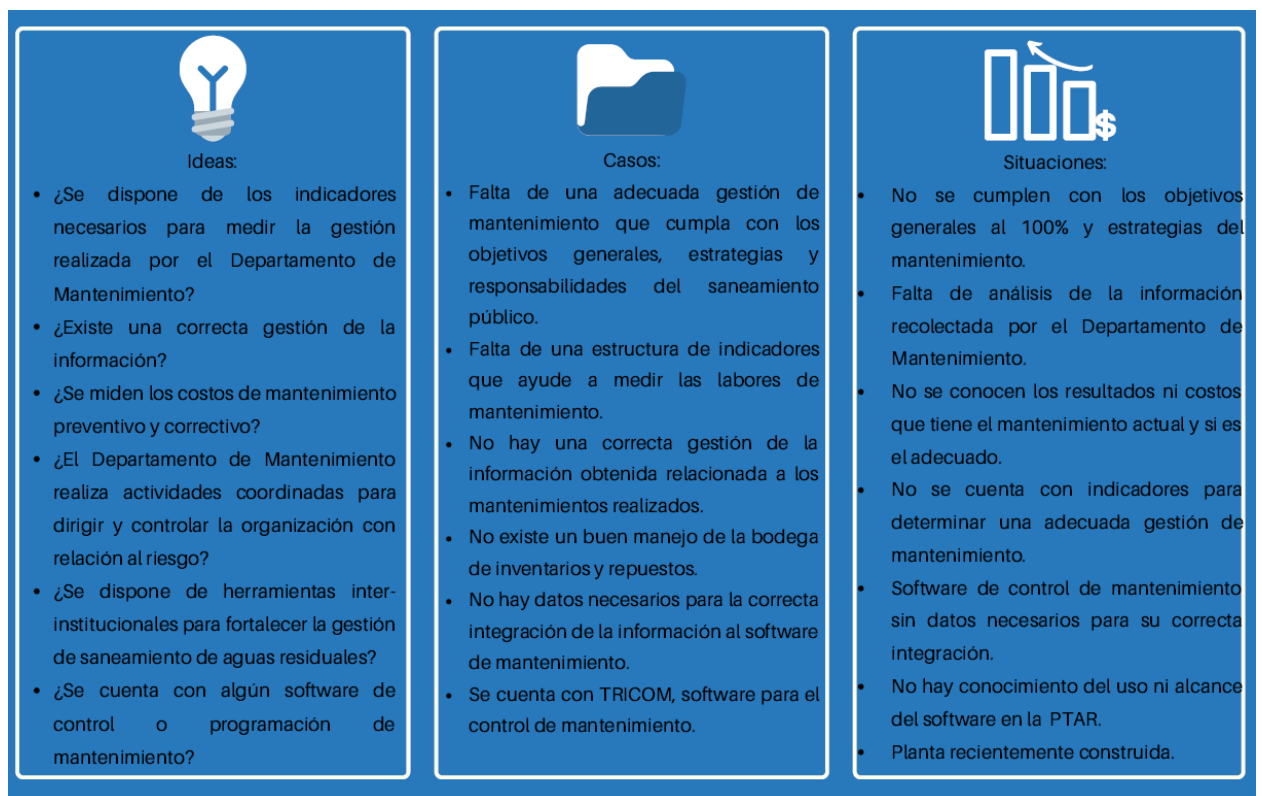


Figura 2. Ideas, Casos y Situaciones para la definición del problema.

Fuente: (Propia, Canva Online)

Analizando la información del esquema anterior y siguiendo las recomendaciones de (Sampieri, Collado & Lucio (2010) para el planteamiento del problema se describe el problema de la siguiente forma:



“No se cumplen satisfactoriamente los objetivos y estrategias del Departamento de Mantenimiento debido a diversas razones, una de ellas es la falta de análisis de la información recolectada por la inadecuada gestión del mantenimiento”

### **Justificación del proyecto**

La PTAR Los Tajos tiene por objetivo mejorar la calidad del agua de los ríos y mantos acuíferos del Área Metropolitana de San José, reduciendo la contaminación causada por la descarga directa y sin tratamiento de las aguas residuales a los ríos. Así, contribuye a recuperar la calidad ambiental del agua de la cuenca hidrológica del río Torres. (Toma I. Manual de Operación y Mantenimiento PTAR Los Tajos)

El Departamento de Mantenimiento de la PTAR Los Tajos tiene por objetivo procurar por todos los medios y/o equipos disponibles (electromecánicos y electrónicos) conservar en condiciones de funcionamiento seguro y eficiente todo el equipo de tratamiento de aguas residuales para facilitar la producción continua de agua tratada (que satisfaga los estándares biológicos y químicos) y que por otro opere con niveles bajos o nulos de accidentes, pérdidas o lesiones humanas y daños al medio ambiente.

Con el objetivo de valorar su rendimiento, el departamento cuenta con una base de indicadores (Figura 1) sin una definición clara y con algunos problemas en la ejecución del presupuesto (Figura 3) de ₡33,397,198.80, debido a la falta de datos y análisis para su correcta ejecución. (Dept. Mantenimiento, PTAR Los Tajos)

### 3 Presupuesto Ejecutado

Presupuestos ejecutado vrs el solicitado	Colones		
1.04.06/Sev. De Soldadura	₡ 2,000,000.00	₡ 99,400.00	₡ 1,900,600.00
1.04.99.6/Calibración	₡ 6,000,000.00	₡ 3,389,450.00	₡ 2,610,550.00
1.08.04/Mantenimiento	₡ 43,800,000.00	₡ 36,598,218.14	₡ 7,201,781.86
1.08.07/Mantenimiento de A/C	₡ 3,000,000.00	₡ 3,000,000.00	₡ -
1.08.08/Mantenimiento del SCADA	₡ 5,000,000.00	₡ 4,999,997.50	₡ 2.50
2.01.01/Grasas y Aceites	₡ 12,000,000.00	₡ 9,861,079.37	₡ 2,138,920.63
2.03.04/Materiales Eléctricos	₡ 12,000,000.00	₡ 11,731,914.07	₡ 268,085.93
2.04.01/Herramienta Menor	₡ 3,000,000.00	₡ 1,500,000.00	₡ 1,500,000.00
2.04.02/Repuestos y Accesorios	₡ 43,165,232.78	₡ 32,980,812.90	₡ 10,184,419.88
2.99.01/Cintas	₡ 1,500,000.00	₡ 1,509,750.00	₡ (9,750.00)
2.99.99.4/Baterías	₡ 1,250,000.00	₡ 860,000.00	₡ 390,000.00
Activos	₡ 26,310,000.00	₡ 19,097,412.00	₡ 7,212,588.00
		₡ -	₡ -
		₡ -	₡ -
		₡ -	₡ -
<b>Meta</b>		₡ 125,628,033.98	
<b>Indicador</b>	<b>₡ 159,025,232.78</b>	<b>79%</b>	

Figura 3. Indicador: Presupuesto Ejecutado, Departamento de Mantenimiento, año 2018.

Fuente: (Fuente: Departamento de Mantenimiento PTAR Los Tajos, AyA.)

Según la información brindada por el departamento, actualmente, esta falta de análisis de la información recolectada no permite tomar decisiones basadas en el conocimiento y, por lo tanto, imposibilita la resolución de los problemas, incurriendo a gastos operativos adicionales o retraso de contrataciones que imposibilitan la ejecución del presupuesto.

La ausencia de un adecuado modelo de gestión por parte del Departamento de Mantenimiento de la PTAR por la exigencia del rápido funcionamiento y la poca experiencia a nivel nacional de una planta de este tipo, ha hecho que no exista una base sólida en cuanto al cumplimiento de objetivos, estrategias y responsabilidades del mantenimiento. Todo esto en conjunto hace que el departamento no trabaje con

los criterios adecuados para el mantenimiento como el análisis de datos y mayor control en las labores diarias.

Otra desventaja es que no se utiliza un programa o software de manejo de mantenimiento que garantice la prestación del servicio de saneamiento en forma optimizada, esto a pesar de que la institución cuenta con el software TRICOM de Gestión de Mantenimiento, que ayudaría a unificar las labores de programación y control de mantenimiento para generar el valor que se merece dentro de la organización.

La propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento busca desarrollar la planeación, ejecución y monitoreo de todas las actividades vitales para cumplir con los objetivos, estrategias y metas del área de mantenimiento; siempre en busca de una mayor optimización del funcionamiento de los equipos, de manera que mejoren los rendimientos y disminuyan numéricamente las paradas (cantidad y costo) por fallas. Con esto también se lograría un alargamiento de la vida útil de los equipos de la PTAR, lo cual traería una disminución de costos y el fortalecimiento de la gestión de saneamiento de aguas residuales a través del aprovechamiento de los instrumentos actuales.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

1. Diseñar un modelo de gestión de mantenimiento para la PTAR Los Tajos que le permita al Departamento de Mantenimiento cumplir con sus objetivos, estrategias y responsabilidades anuales.

### **Objetivos Específicos**

1. Evaluar la condición actual del Departamento de Mantenimiento mediante la aplicación de una norma de auditoría de mantenimiento MES, que identifique cuáles son las deficiencias en las diferentes áreas.

2. Crear un Cuadro de Mando Integral que permita el planteamiento de indicadores de mantenimiento en las cuatro perspectivas propuestas por Kaplan & Norton (1992), lo cual permitiría un mayor control de los equipos y procesos.
3. Crear un Modelo de Criticidad semicuantitativo (CTR) que identifique el riesgo relacionado con las diferentes etapas del proceso de tratamiento de aguas residuales, enfocando los esfuerzos en función del contexto operacional.
4. Estructurar la información del programa de mantenimiento de acuerdo con las plantillas solicitadas por el software TRICOM de control de mantenimiento.
5. Identificar los riesgos que pueden afectar a uno o varios objetivos, durante el diseño y mejoramiento de los programas y estrategias de Mantenimiento, para su adecuada gestión del riesgo.

## **CAPÍTULO 1**

### **MARCO EMPRESARIAL**

#### **1.1 Reseña histórica del AyA**

Desde 1942 en la Asamblea Legislativa se emitió la Ley de Aguas, que disponía en su artículo 41 que todos los acueductos del país eran patrimonio del Estado, que las nuevas obras de este tipo las operaría el Ministerio de Salubridad Pública y que los acueductos administrados por las municipalidades continuarán así hasta que se decretara su nacionalización.

Debido a que el Estado no logró asumir la operación como se suponía, y que el problema continuaba agravándose, se emitió en 1953 la Ley General de Agua Potable, imponiendo regulaciones a los organismos administradores, con el fin de garantizar la potabilidad del agua en resguardo a la salud pública.

El esfuerzo nacional y el interés por dotar de agua de buena calidad para consumo humana, servida a domicilio, culminó con la emisión de la Ley N.º 2726 del 14 de abril de 1961, que creó el Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SNAA), calificado por su gestor, el presidente en ejercicio en aquel entonces, Lic. Mario Echandi Jiménez, como "la medida de mayor trascendencia nacional" en favor de la salud pública durante los últimos cincuenta años.

Tomando en consideración la gravedad de la situación del Área Metropolitana, los diputados incluyeron en la misma Ley un artículo transitorio cuyo texto dice:

El Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SNAA) iniciará sus funciones destinando todos los recursos a la solución de los problemas de agua potable en el distrito especial (Área Metropolitana) creado por el artículo 27 de esta Ley. Mientras no haya cumplido en forma racional y aceptable esa labor, no podrá ejercer su función en relación con las otras municipalidades del país, excepto cuando las propias corporaciones interesadas, en forma individual o colectiva, le soliciten expresamente al Servicio.

Este marco legal le permitió al SNAA, mediante el desarrollo de una tecnología cada vez más avanzada, brindarles a las personas costarricenses, un mejor servicio de alcantarillado sanitario y más y mejor acceso a agua potable por medio de grandes obras hidráulicas, en busca de mejorar la calidad de vida de su pueblo y contribuir al desarrollo económico y social del país.

## **1.2 Proyecto de Mejoramiento Ambiental del Área Metropolitana de San José (Informe final de Gestión AyA 2014-2018)**

Acueductos y Alcantarillados mediante la aprobación del Decreto Ejecutivo 32133-S, 2004 inicia la implementación del Proyecto de Mejoramiento Ambiental del Área Metropolitana de San José a través de un préstamo con el Banco Japonés para la Cooperación Internacional (JBIC) y es la inversión más grande del país en el tema de saneamiento: un total de \$379.771.772 (sin incluir la gestión). (Informe final de Gestión AyA 2014-2018, pdf)

La más importante es la conclusión de la planta de tratamiento de aguas residuales Los Tajos en el año 2015, ubicada en La Uruca, con una inversión de \$48.498.902 y con una capacidad para tratar las aguas servidas de 1.070.000 habitantes.

Por su parte, la rehabilitación e instalación de nuevas redes secundarias de alcantarillado representa una inversión de \$45.207.641 al 2017. Además, se construyó en el 2016 el túnel de trasvase de 1,8 kilómetros con un costo de \$19.155.755 para llevar las aguas servidas de los colectores Tiribí y María Aguilar, localizados al sur del Área Metropolitana, hacia la cuenca del Río Torres, desde donde se conducirán junto con las aguas de los colectores Rivera y Torres a la planta de tratamiento.

Asimismo, se finalizó el emisario metropolitano, que comunica los principales colectores del Área Metropolitana, principalmente el Rivera, el Torres (colectores del norte de la GAM), así como los María Aguilar y Tiribí (colectores del sur), para trasladarlos a la planta Los Tajos, con un costo de \$8.506.402.

Los habitantes beneficiados con el proyecto son pobladores de los cantones: San José, Desamparados, Goicoechea, Alajuelita, Escazú, Vásquez de Coronado, Tibás, Moravia, Montes de Oca, Curridabat y La Unión.

Según el Informe del AyA, el proyecto tiene por objetivo mejorar la calidad del agua de los ríos y mantos acuíferos del Área Metropolitana de San José, reduciendo la contaminación causada por la descarga directa y sin tratamiento de las aguas residuales a los ríos y de las descargas a los drenajes de las aguas residuales provenientes de los tanques sépticos.

Esta reducción se logra mediante la construcción de redes secundarias, la rehabilitación y extensión del sistema de recolección y la construcción de una planta de tratamiento, beneficiando a 1.070.000 habitantes. Así, se contribuirá a recuperar la calidad ambiental del agua de los ríos y las áreas de protección de los ríos, como sitios de recreo y esparcimiento para la población y se reducirá el riesgo para la salud de la población de las áreas directas e indirectas. Del mismo modo, se dará un mayor valor agregado a las ciudades, al aumentar la plusvalía, permitirse el crecimiento urbano vertical y se favorecerá el ordenamiento territorial.

Para ejecutar este importante proyecto, se fortaleció la Unidad Ejecutora con 129 plazas y se ha avanzado en un 64% de la adquisición de las servidumbres necesarias, uno de los escollos encontrados.

### **1.2.1 Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales (PNSAR, 2014-2018)**

Costa Rica estableció en el 2016 por primera vez una Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales 2017-2045 (PNSAR), la cual prevé una inversión superior a los \$6.200 millones en obras de infraestructura contemplados en el Plan Nacional de Inversiones en Saneamiento en los próximos 30 años. Dicho proyecto desde ya marca la ruta del saneamiento y un avance significativo en la salud pública y en la protección ambiental.

Esta política, impulsada por el AyA, está basada en los Objetivos de Desarrollo Sostenible, cuyas metas promueven lograr el saneamiento seguro para el 2030, considerando tres aspectos básicos:

Alcantarillado Sanitario Urbano, Saneamiento seguro rural y Tratamiento de aguas residuales. Además, pretende lograr el manejo seguro de las aguas residuales generadas en el país entre el 2036 y el 2045.

Para cumplir con lo establecido por la PNSAR se establecieron cinco ejes centrales, los cuales se presentan en la Figura N° 4.



Figura 4. Ejes centrales de la PNSAR.

Fuente: (Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales, AyA, 2016)

El objetivo general de la PNSAR es lograr, para el 2045, el manejo seguro del total de las aguas residuales generadas en el país, lo cual permitirá garantizar que estas no afecten el ambiente.



Para cumplir este objetivo se requieren inversiones en la infraestructura del alcantarillado y el tratamiento de aguas residuales, junto con el fortalecimiento normativo e institucional, además de mejorar la gestión integral para el saneamiento de aguas residuales, mejorar la sostenibilidad financiera y la participación ciudadana.

### **1.3 Misión**

Asegurar el acceso universal al agua potable y al saneamiento de forma comprometida con la salud, la sostenibilidad del recurso hídrico y el desarrollo económico y social del país (Informe final de Gestión AyA, 2014-2018).

### **1.4 Visión**

Ser la institución pública de excelencia en rectoría y gestión de los servicios de agua potable y saneamiento para toda la población (Informe final de Gestión AyA, 2014-2018).

### **1.5 Objetivos Estratégicos del AyA**

A continuación, se muestran algunos objetivos estratégicos (de interés para el proyecto a realizar) del AyA como institución, según el Informe Final de Gestión AyA 2014-2018, p17), entre ellos:

#### **1.5.1 Financieros**

- Lograr un gasto operativo controlado.
- Aumentar la ejecución del presupuesto.

#### **1.5.2 Procesos internos**

- Aumentar la disponibilidad del servicio de saneamiento dentro del área de cobertura del Sistema Metropolitano de AyA.

- Transversalizar la gestión de riesgo en toda la gestión institucional para generar capacidad de prevención, mitigación y respuesta en la atención: antes, durante y después de una emergencia.

### **1.5.3 Capacidad Organizacional**

- Contar con soluciones informáticas innovadoras e integradas.
- Contar con personal con las competencias necesarias.
- Tener personal con buen desempeño.

## **1.6 PTAR Los Tajos, I Etapa: Tratamiento Primario**

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Los Tajos tiene como objetivo “tratar las aguas crudas provenientes de las cuencas del sur y norte de la GAM por medio de un canal emisario, con un caudal máximo diario de 3,45 m<sup>3</sup>/s al 2019 (Tomo N.1 “Manual de Operación y Mantenimiento PTAR Los Tajos”, 2015, p.18).

En esta I Etapa se aplica un tratamiento preliminar (remoción de sólidos gruesos, finos y arena), seguido de un tratamiento primario aplicando sedimentación a las aguas residuales con el propósito de remover aproximadamente un 40% de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y un 50% de Sólidos Suspendidos Totales (SST), y por último tratan los lodos de su disposición final en un relleno sanitario. (Tomo N.1 “Manual de Operación y Mantenimiento PTAR Los Tajos”, 2015, p.21)

En la PTAR Los Tajos existen tres líneas de tratamiento: aguas residuales, olores y lodos. Los lodos se producen como residuos de la primera línea y reciben un tratamiento para convertirlos a lodos tratados o biosólidos seguros, por medio de tres procesos: espesado de lodos, biodigestión anaeróbica y deshidratación utilizando centrifugas para su adecuado manejo y disposición final.(Tomo N.1 “Manual de Operación y Mantenimiento PTAR Los Tajos”, 2015, p.22)



Figura 5. Vista aérea de PTAR Los Tajos Costa Rica Uruca, San José.

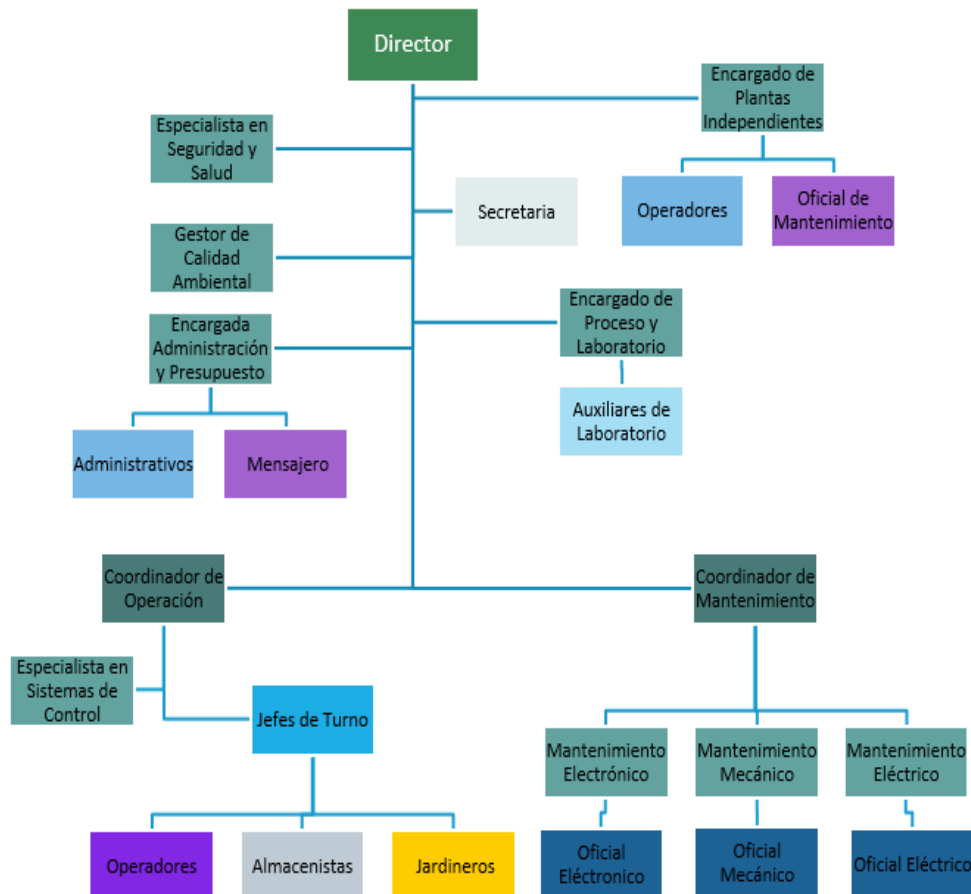
Fuente: (Acciona-Agua, 2015)

### 1.6.1 Objetivos y propósitos de la PTAR (AyA, 2015)

- Mejorar la calidad de vida de las personas.
- Reducir el riesgo para la salud pública y la posible contaminación de mantos acuíferos.
- Contribuir en la reducción de las concentraciones de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y de sólidos suspendidos totales (SST) en los ríos de la GAM de San José.
- Revaloración de propiedades que se encuentran en las cercanías de los ríos, eliminando malos olores y minimizando la contaminación.

## 1.7 Estructura organizacional PTAR Los Tajos

La planta cuenta con gran cantidad de personas tanto en operación y mantenimiento, como en personal administrativos. En la siguiente imagen podemos ver la estructura organizacional y funcional de la PTAR y cómo están distribuidos los 54 trabajadores:



Áreas	Descripción	Cantidad
Administración	Dirección, Administración, Coordinadores y Encargados de Área	13
Mantenimiento (Operativos)	Electrónicos, Eléctricos, Mecánicos	12
Operación (Operativos)	Operación, Jardines, Almacén	26
Laboratorio (Operativos)	Asistentes de laboratorio	3
<b>Cantidad de Trabajadores</b>		<b>54</b>

Figura 6. Dirección Organizacional PTAR “Los Tajos” según la Dirección de Recolección y Tratamiento de la GAM (DIR RyT GAM).

Fuente: (AyA, 2018)

## **1.8 Descripción del proceso de la PTAR Los Tajos, Etapa I Tratamiento Primario de Aguas Residuales (Toma #1. Acciona Agua-AyA)**

En el país existen varias normas y reglamentos que regulan los servicios de tratamiento de aguas y que exigen a las empresas el tratamiento de sus residuos líquidos y sólidos previo a su descarga al medio ambiente (Decreto 33601 MINAE-S), con la finalidad de reducir el impacto nocivo y el desequilibrio que provocan en la naturaleza.

Como se mencionó anteriormente, la PTAR Los Tajos tiene como objetivo “tratar las aguas crudas provenientes de las cuencas del sur y norte de la GAM” con el fin de sanear la cuenca hidrográfica de río Tárcoles y mejorar las condiciones ambientales y de salud pública del Área Metropolitana de San José.

En esta I Etapa se aplica un tratamiento preliminar (remoción de sólidos gruesos, finos y arena), seguido de un tratamiento primario aplicando sedimentación a las aguas residuales con el propósito de remover aproximadamente un 40% de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y un 50% de Sólidos Suspendidos Totales (SST), y por último tratan los lodos de su disposición final en un relleno sanitario. (Tomo N.1 “Manual de Operación y Mantenimiento PTAR Los Tajos”, 2015, p.21)

El proceso de tratamiento primario de aguas residuales está conformado por las siguientes etapas descritas a continuación y de forma gráfica en la Figura 7.

### **1.8.1 Línea de Agua**

Se refiere a la etapa de pretratamiento y TPQ. Esta etapa tiene como objetivo remover de la corriente la basura y los sólidos gruesos o pesados, y eliminar grasa y aceites. Está compuesta por:

- Conexión del emisario de llegada con la PTAR.
- Medición de caudal de entrada a la planta.
- Obra de llegada y derivación general de la instalación (Bypass general).
- Compuerta motorizada para aislamiento de la entrada de agua bruta al pozo de gruesos.

- Pozo de gruesos en el que se produce la retención de los desechos voluminosos antes de las rejillas de impacto. Estos desechos serán eliminados por cuchara bivalva.
- Rejillas de impacto, instaladas en la entrada a los canales de desbaste.
- Desbaste de gruesos, en canales equipados con rejillas de limpieza automática, de 1,5 m de anchura y 30 mm de luz de paso.
- Tamizado o desbaste de finos en canales equipados con tamices auto limpiantes de 1,5 m de anchura y 6 mm de luz de paso.
- Canal de Bypass equipado con una reja manual de 1,5 m de altura y 100 mm de luz.
- Desarenado-desengrasado en obra conjunta mediante canales longitudinales aireados de 228 m<sup>2</sup> de superficie y 21,5 m<sup>2</sup> de superficie transversal unitaria.
- Concentrador de grasas para las grasas extraídas del proceso de desengrasado.
- Lavador-clasificador de arenas, para procesado de las extraídas en el proceso de desarenado.
- Medida de caudal previa a sedimentación primaria, mediante medidores de nivel en vertederos de salida del desarenado-desengrase.
- Arqueta de reparto de caudal a sedimentadores primarios, aislada mediante compuerta a cada sedimento primario.
- Sedimentación primaria en sedimentadores lamelares espesadores, de 20 m de diámetro, provistos de cámaras de mezcla y floculación previas.
- Medición del caudal del agua clarificada previa a su vertido en el río Torres.

### **1.8.2 Línea de Lodos**

Se encarga de tamizar, espesar, estabilizar y deshidratar los lodos provenientes del proceso de Sedimentación o Clarificación Primaria. En el proceso de estabilización se genera biogás, el cual se emplea para la producción de energía eléctrica para el consumo de la planta misma. La Línea de Lodos está compuesta por los procesos:

- Purga de lodos primarios y envío mediante bombeo a tamizado previo al espesamiento por gravedad.
- Tamizado de lodos primarios en elementos compactos de paso 5 mm que evita la entrada de sólidos a los digestores que puedan producir problemas en tratamientos posteriores.
- Espesamiento de lodos primarios por gravedad, mediante elementos de 17 m de diámetro y 4 m de altura.
- Depósito de lodos espesados (ubicado en edificio de tamizado), convenientemente agitado mediante agitador sumergible. En este depósito se almacenan los lodos espesados previo a su envío al proceso de digestión mediante bombas de tornillo.
- Digestión anaerobia en digestores de 7.100 m<sup>3</sup> de capacidad unitaria, construidos en hormigón, de 22,5 m de diámetro y 13,3 m de altura.
- Agitación de digestores mediante biogás generado en el propio proceso de digestión, e impulsado por moto compresores de gas hasta los digestores, donde se inyecta a través de lanzas de gas.
- Depósito tampón de lodos digeridos de 22,5 m de diámetro y 6,3 m de altura.
- Sistema de calefacción de lodos situado en el edificio de lodos: Calderas de agua caliente con quemador dual biogás/gasóleo, Intercambiadores espirales de agua-lodo y Bombas centrífugas horizontales para conducir el agua caliente a los intercambiadores.
- Centrífugas decantadoras para secado de lodos (sequedad superior al 25%).
- Elevación del lodo deshidratado a almacenamiento en silos mediante tornillos transportadores.
- Medición del caudal del agua clarificada previa a su vertido en el río Torres.

### **1.8.3 Línea de Gas y Recuperación de Energía**

En la Línea de Gas se almacena, se trata y se quema el biogás con motores de recuperación de energía alimentados por el gas producido en las distintas áreas de la planta, de esta manera se toma su característica de combustión para el aprovechamiento energético. Esta línea está compuesta por:

- Tratamiento de biogás generado en el proceso de digestión mediante enfriamiento, condensación y adsorción en carbón activo, para evitar posibles problemas en los equipamientos posteriores.
- Almacenamiento del gas en gasómetros de baja presión.
- Quemador de gases en exceso mediante antorcha.
- Motor de Biogás de 1.100 kW, con la posibilidad de alimentación dual (biogás/gasolina).
- Sistema de aprovechamiento de la energía calorífica para calentamiento del proceso de digestión de la planta.

#### **1.8.4 Desodorización de las áreas y secciones**

Se encarga de efectuar una correcta localización de los olores en el interior de una planta depuradora. En esta etapa los olores son extraídos tanto de los edificios como de las zonas cubiertas, mediante una red de ductos que conectarán los procesos con el sistema de desodorización. El proceso de Desodorización está compuesto por:

- Desodorización por vía química en cubriciones de dos columnas en serie, formando un conjunto con una primera etapa ácida y una segunda oxidante y alcalina.
- Desodorización por vía biológica, capaz de transformar gran variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos en productos inofensivos como CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O mediante un medio filtrante en diferentes capaz de pino, puesto en marcha con bacterias seleccionadas para tratar las condiciones químicas del aire de entrada.



### 1.8.5 Diagrama de Flujo de la Etapa I

DIAGRAMA DE FLUJO ETAPA I

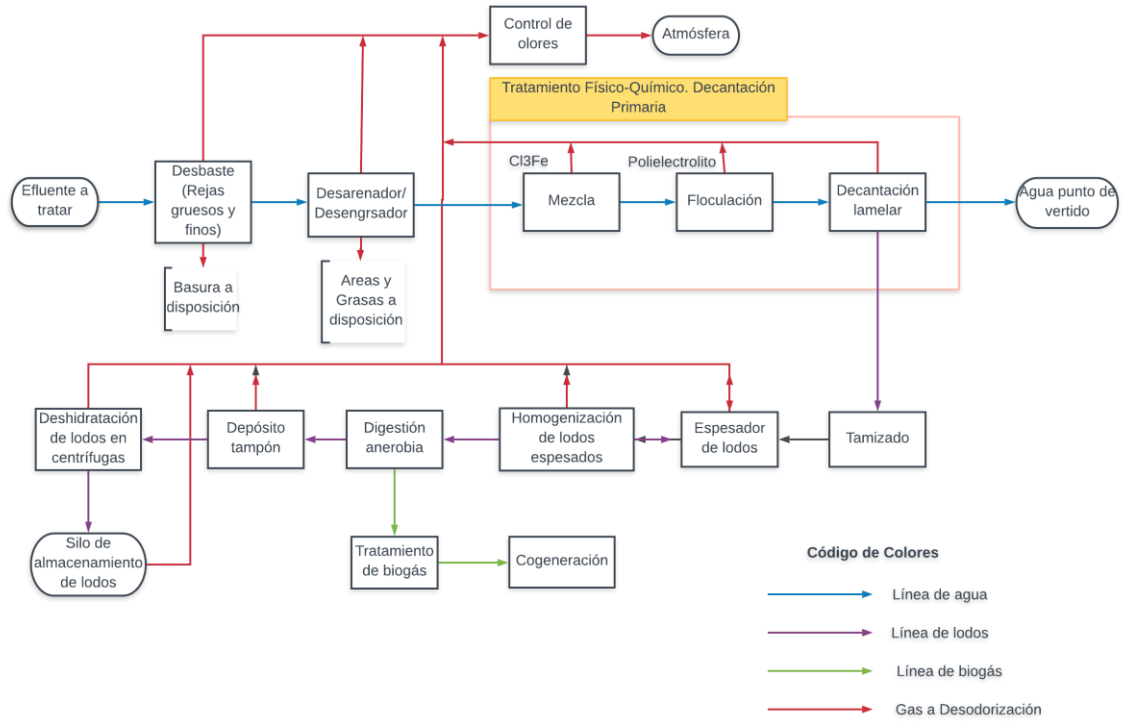


Figura 7. Diagrama de proceso de tratamiento de aguas residuales de forma gráfica.

Fuente: (Propia, Canva 2019)

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Modelo de gestión de mantenimiento.

La moderna gestión del mantenimiento busca desarrollar la planeación, ejecución y monitoreo de las distintas actividades destinadas a determinar los objetivos y las prioridades de mantenimiento, siempre y cuando genere valor para la organización tanto a nivel administrativo como económico. Se trata de un esfuerzo constante que busca la mejora continua para el fortalecimiento de la gestión. (Crespo, 2007, p4.)

Un adecuado modelo de gestión debe asegurar el correcto funcionamiento de los equipos y funciones, evitando la ocurrencia de fallas y las inconsistencias en la operación, lo cual lleva a garantizar la fiabilidad y seguridad del sistema, y como resultado, se disminuyen al máximo los riesgos para las personas y los efectos negativos sobre el medio ambiente (Viveros, Stegmaier, Kristjanpoller, Barbera & Crespo, 2014, pp-125-138).

A partir de esto, se puede demostrar Crespo (2007) que, para la gestión eficaz y eficiente del mantenimiento, se debe entender que el proceso de gestión de mantenimiento cuenta una serie de pasos a seguir y que su estructura básica es necesaria para una gestión avanzada del mantenimiento.

##### 2.1.1 Proceso de Gestión de Mantenimiento

Según Crespo (2007) todo proceso y/o desarrollo de una gestión de mantenimiento puede dividirse en dos secciones primordiales:

- Definición de la estrategia de mantenimiento: donde se establecen los objetivos del Departamento de Mantenimiento y estos deben estar alineados con los requerimientos de la organización.
- Implementación de la estrategia de mantenimiento: donde se asegura en diferentes niveles la formación del personal, así como la preparación de

trabajos, la correcta programación y planificación de actividades coordinadas para dirigir y controlar la organización.

## **2.1.2 Estrategias de Mantenimiento**

### **2.1.2.1 Mantenimiento correctivo**

Se basa en el conjunto de acciones no planeadas que van sucediendo en el proceso, las cuales son avisadas al departamento de mantenimiento. Este, debe tener personal entrenado para intervenir la falla ocasionada, pues el proceso no puede parar, pues se generan muchas pérdidas. Además, si el equipo continúa trabajado con una falla, puede ocasionar la pérdida total de ese equipo. Esto es aceptable en muy pocos casos y es posible que se prefiera para equipos de bajo costo y pequeñas consecuencias de falla.

### **2.1.2.2 Mantenimiento preventivo**

Es una serie de etapas planeadas previamente que se llevan a cabo para contrarrestar las causas conocidas de fallas potenciales de dichas funciones. En esta fase se trabaja con la información recolectada, dándole valor, optimizando planes y realizando análisis, en las cuales se logra optimizar frecuencias y los alcances de estas. Se destina a aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, aumentando la vida útil de los mismos; es planeada mediante reuniones de los encargados del departamento de mantenimiento. En este mantenimiento se incluyen indicadores para mantener un control sobre todas las acciones que se vayan a llevar a cabo o al contrario valorar y analizar las que ya se efectuaron.

### **2.1.2.3 Mantenimiento predictivo**

Se mejora a lo que respecta al mantenimiento preventivo, ya que, se usa el rendimiento real del equipo, para cuando se debe dar mantenimiento. Se pretende conocer e informar permanentemente el estado y operatividad de las instalaciones, se deben conocer variables como temperatura, vibración

y consumo de energía. Así pues, para ser efectivo su uso, es necesario personal calificado para comprender y utilizar las herramientas de avanzadas tecnológicamente y con fuertes conocimientos en matemática, física y teoría técnica. Es muy eficiente y se utiliza generalmente en aquellos equipos donde el costo de falla es elevado. Los métodos más comunes son el conocimiento de los equipos, las inspecciones visuales, la medición de temperaturas, control de lubricación y corrosión.

#### **2.1.2.4 Mantenimiento programado**

En esta etapa se programan todas las tareas relacionadas con las estrategias que van de la mano con los tiempos de producción de la empresa. Su objetivo es señalar cuándo se deben realizar las actividades de mantenimiento, según el proceso, por ejemplo, se programan para periodos semanales, mensuales o anuales.

#### **2.1.2.5 Mantenimiento autónomo**

Pretende responsabilizar del mantenimiento mínimo a los usuarios de los equipos. Ya que, si este tiene el conocimiento técnico para lograr darle mantenimiento parcial o total a su máquina, esto ayudará a aumentar la vida útil de los equipos y disminuye los trabajos que deban realizar los técnicos o ingenieros a cargo del departamento de mantenimiento, dándoles más tiempo para dedicarse a otras labores y a su vez requiriendo menos personal técnico según las necesidades de la empresa.

#### **2.1.2.6 Mantenimiento rutinario**

Es el que comprende actividades tales como: lubricación, limpieza, protección, ajustes, calibración u otras; su frecuencia de ejecución es hasta periodos semanales. Generalmente, es ejecutado por los mismos operarios de los sistemas y su objetivo es mantener y alargar la vida útil de dichos sistemas operativos, lo cual evita su desgaste.

Las estrategias de mantenimiento deben estar orientadas a las metas y objetivos de la organización, además, deben describir las responsabilidades del personal involucrado tanto a nivel operacional como gerencial. Según Crespo (2007, p 4) para definir una estrategia para el mantenimiento se pueden utilizar métodos conocidos de planificación estratégica como:

- Con base en los objetivos de la organización, así como los diferentes departamentos y sus políticas de más alto nivel, incluyendo variables de seguridad, riesgo, ambiente, disponibilidad, calidad, etc.
- Determinar el desempeño y/o rendimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Determinar cuáles deben ser los indicadores de rendimiento (KPI) claves basados en la estrategia de la Organización para la evaluación del rendimiento de las instalaciones y sistemas de la planta.
- Establecer actividades coordinadas en relación con el riesgo que condicionan la posterior planificación, ejecución, evaluación, control y análisis para la mejora continua de actividades de mantenimiento.

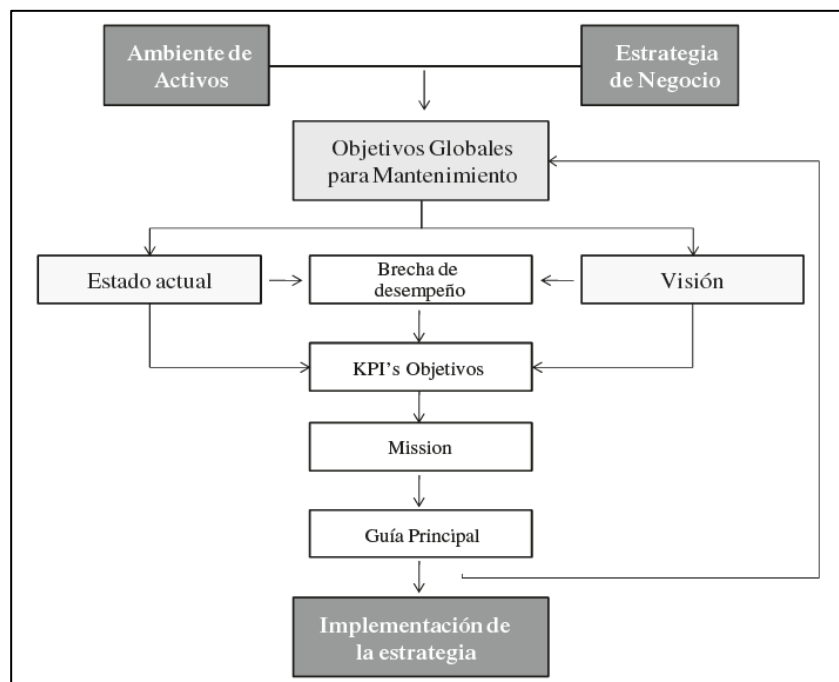


Figura 8. Modelo para la definición de la estrategia de mantenimiento.

Fuente: (A. Crespo, 2007)

### 2.1.3 Etapas para el desarrollo de un Modelo de Gestión de Mantenimiento.

A partir de lo mencionado anteriormente, se presenta un modelo dinámico de gestión de mantenimiento que se alinea con las estrategias, políticas e indicadores claves, y toma en cuenta e integra diversos modelos de mantenimiento.

El modelo que se requiere desarrollar se compone de nueve principales etapas para la gestión integral de mantenimiento (Figura 9), las cuales deben desarrollarse progresivamente según el departamento actual de la organización, enfocándose en la planificación, programación y ejecución del mantenimiento.



Figura 9. Modelo del proceso de Gestión del Mantenimiento.

Fuente: (Propia, Word, 2019)

Se presenta un cuadro dinámico de gestión de mantenimiento para la gestión integral, que determina de forma precisa el curso de acciones a llevar a cabo en el proceso para asegurar la mejora continua, la eficiencia y eficacia de este.

Se debe partir del conocimiento y evaluación de la situación actual de la PTAR y a partir de esto definir objetivos del departamento de mantenimiento de manera que estos coexistan de forma paralela a los objetivos de la Organización. A partir de análisis de las debilidades del proceso por medio de encuestas de efectividad de mantenimiento y jerarquización de equipos se busca la eficacia dentro del modelo de gestión en la fase 3 y 4; ahora bien, en las fases posteriores 5 y 6, se deben establecer cuáles son los equipos pilares en el sistema o etapa del proceso de saneamiento y en sí, la programación de los planes de mantenimiento ya sean correctivos, preventivos y predictivos.

Posteriormente comienza las fases de implementación, en esta se debe evaluar las fases anteriores, mediante controles en la ejecución y coordinación de las actividades y tareas programadas, todo esto para las fases 7 y 8, así mediante un control eficiente en el cual se tiene claro cuáles son los resultados obtenidos, se emprende la última fase, la fase 9, la cual busca la mejora continua dentro del modelo de gestión, esto para dar con la eficiencia que se menciona anteriormente, en busca de minimizar los riesgos y costos de mantenimiento, agregando competitividad a la Organización.

#### **2.1.4 Ingeniería y Gestión de Mantenimiento: Ciclo de Mejora Continua**

El concepto base que da lugar a la ingeniería de mantenimiento es la mejora continua del proceso de gestión de mantenimiento mediante la incorporación de conocimiento, inteligencia y análisis que sirvan de apoyo a la toma de decisiones en el área del mantenimiento (Arata, 2009, p.442), en nuestro caso, orientadas a fortalecer la gestión de saneamiento de aguas residuales.

Con base en la Norma ISO 9001-2008 se describe el proceso conocido como “Ciclo Habitual de Mantenimiento”, desarrollado a partir del ciclo de mejora continua y del análisis y modelado de los resultados obtenidos en la ejecución de las

operaciones de mantenimiento, tomando en cuenta diversas actividades como programación, planificación, coordinación de actividades, asignación de tareas y labores, además de su ejecución y gestión de la información.

Este ciclo de trabajo de mantenimiento permite, en caso de ocurrir algún fallo en el modelo, ser atendido de manera inmediata, agregando valor al modelo de gestión de mantenimiento. Además, agrega al ciclo habitual dos nuevas actividades: el proceso de análisis de lo ya ejecutado para la búsqueda respectiva de oportunidades de mejora como la modificación del plan de mantenimiento; y el proceso de identificación de tareas necesarias para implementar las mejoras definidas anteriormente.

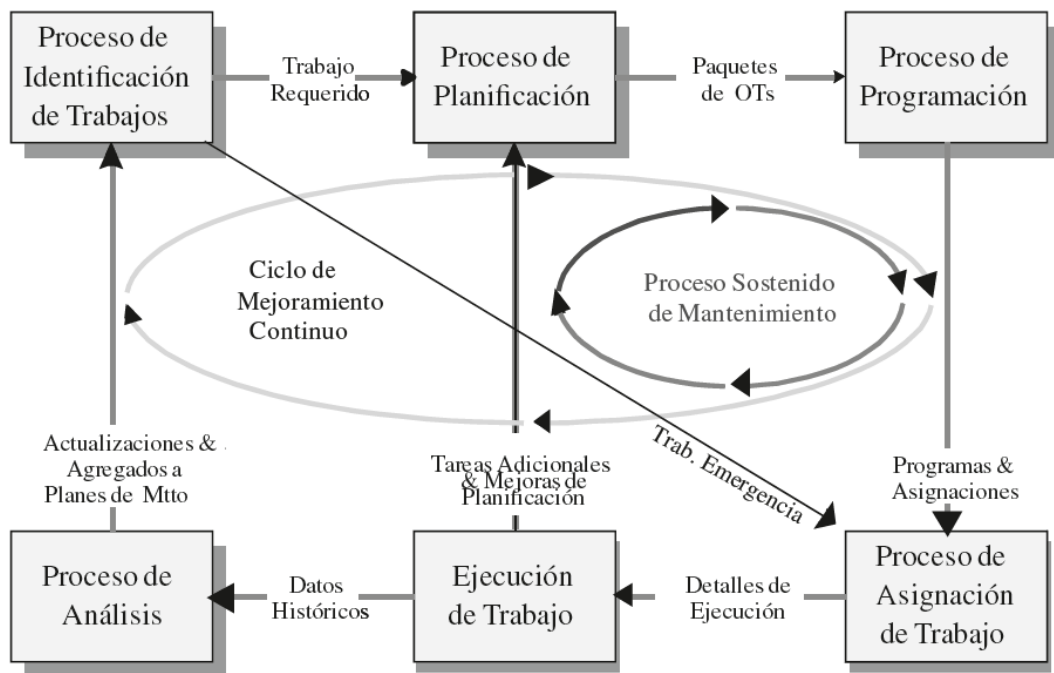


Figura 10. Ciclo para Mantenimiento de Mejora Continua.

Fuente: (A. Arata. "Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales", 2009)



## 2.2 Indicadores de mantenimiento

*“Cuando se puede medir de lo que se está hablando, y expresarlo en números, se sabe algo al respecto; pero cuando no se puede medir, cuando no se puede expresar en números, el conocimiento es de una clase pobre e insatisfactoria” William Thompson.*

El mantenimiento trabaja como un ente regulador del sistema productivo, donde los índices son de vital importancia para la evaluación de las acciones dentro de la organización. Actualmente, (Kaplan, R, Norton, D; 1992) es común ver en las plantas e industrias que la gran mayoría de directores de mantenimiento tiene la idea que invertir en mantenimiento es parte del negocio y no lo ven como un gasto; por ello, hay que mejorar las funciones del departamento y cuantificar el rendimiento de este.

### 2.2.1 CMI: Cuadro de Mando Integral

Como se ha mencionado anteriormente, las organizaciones se enfrentan a obstáculos en el desarrollo de sistemas de medición del desempeño, ya que es todo un desafío poder identificar de manera correcta el indicador necesario para obtener una evaluación adecuada. Para comprobar si se están cumpliendo se necesita de un sistema que equilibre el rigor histórico de los valores financieros con los indicadores de desempeño en tiempo real y futuro (predictivo).

El CMI es una metodología elaborada por R. Kaplan y D. Norton en 1992 y es la herramienta que responde a estos desafíos, este modelo de Cuadro de Mando Integral parte de la visión y estrategia de la planta u organización, a partir de acá se definen los distintos objetivos para alcanzar la visión, y estos a su vez serán el resultado de estrategias que determinen los resultados.

Para efectos de este proyecto, el CMI define como herramienta obtener tres resultados:

- Un sistema de medición
- Un sistema de gestión estratégica
- Una herramienta de comunicación

### 2.2.1.1 Perspectivas principales del CMI

Los procesos internos deben ser planificados y coordinados para dirigir y controlar la perspectiva de cliente, mediante un sistema de evaluación del desempeño empresarial; para conseguirlo, no basta con adoptar orientaciones económicas y financieras, si no también que considera elementos clave, como lo son los clientes, procesos y fuerza de trabajo.

Para que sea un proceso adecuado se requiere una interacción entre todas las perspectivas, ya que la mejora en los procesos o actividades de una tiene directamente repercusiones en las demás, brindando un balance positivo en la organización.

A continuación, se presenta de forma general los aspectos de cada una de las perspectivas que componen el CMI, que logran integrar la estrategia y la evaluación del desempeño del negocio; y transforma la visión y estrategia en objetivos e indicadores:

- **Financiera:** punto de vista del inversor, en este caso sería la alta gerencia. Se podría considerar como la más clásica y la más utilizada en las distintas empresas, pero no deben ser la única. Los indicadores de esta perspectiva sirven de enfoque para todas las demás perspectivas, permitiendo responder a parámetros de crecimiento.
- **Cliente:** evalúa las necesidades de los clientes, en este caso los atributos valorados por los diferentes departamentos y gerencias. Ellos son los responsables ante el cumplimiento de las leyes y decretos en líneas y procesos de saneamiento de aguas residuales. Traduce la estrategia y visión en objetivos sobre los clientes con el fin de alinear el proceso y servicios con sus preferencias.
- **Procesos internos:** medios para alcanzar los objetivos de los clientes de forma eficaz. Se identifican los objetivos e indicadores

estratégicos asociados a los procesos principales y de mayor criticidad del proceso en la Organización. Procesos internos que la Organización debe mejorar para lograr sus objetivos. Por lo general, se desarrolla luego de haber definido los objetivos e indicadores de las dos primeras perspectivas.

- **Aprendizaje y crecimiento:** capacitaciones para mejorar y crear valor, mejora continua del proceso. Se refiere a los objetivos e indicadores que nos ayuden a desempeñar un mejor futuro en la empresa, y reflejan su capacidad para el proceso de mejora continua. Fortalecimiento de la gestión de saneamiento de aguas residuales a través del aprovechamiento de instrumentos actuales y el uso de la tecnología. Esta perspectiva refuerza la importancia de invertir para crear valor futuro.

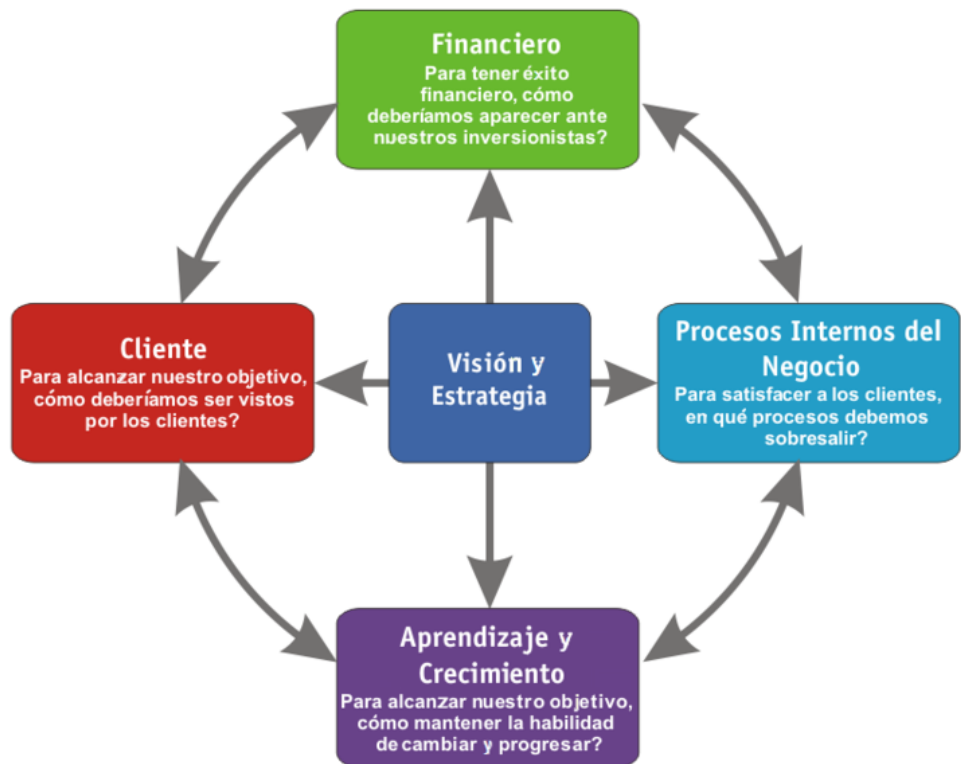


Figura 11. Estructura del Cuadro de Mando Integral.

Fuente: Kaplan, Robert S. y Norton, David P.E. El cuadro de Mando Integral, (2009)

Una ventaja de esta metodología es que no se limita a una perspectiva, de manera que las considera todas simultáneamente, identificando relaciones entre ellas. De esta forma establece una cadena de causa-efecto que permite tomar las medidas necesarias en cada nivel, donde se interrelacionan todos aquellos aspectos fundamentales en el desarrollo e implantación de las estrategias como vía para alcanzar el éxito empresarial.

Las cuatro perspectivas son aplicables a un gran número de plantas y empresas, sin embargo, el CMI no tiene por qué incorporar todas. En la siguiente tabla se muestran los indicadores más comunes y utilizados:

**Tabla 1.** Indicadores de mantenimiento.

<b>Perspectiva</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Indicadores</b>
Financiera	-Controlar y reducir costos.	Efectividad
	-Mayor aprovechamiento de la ejecución presupuestaria	Costos de Mantenimiento
	-Establecer parámetros operativos para las plantas de tratamiento futuras (Costo monetario por cada metro cubico tratado, ejemplo)	Costos de repuestos
	-Disminuir el gasto en materiales, repuestos y consumibles en la labor de mantenimiento	Tercerización del mantenimiento
	-Garantizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, controlando fallas y los tiempos de reparación.	Disponibilidad
		Disponibilidad por avería

Clientes	-Aumentar la capacidad operativa instalada para abarcar mayor área de análisis.	Tiempo medio entre fallas
	-Disminuir el nivel de contaminación ambiental en la cuenca hidrográfica	Gestión de la Calidad
	-Disminuir el riesgo de derrames internos garantizando mayor seguridad operativa	Tiempo medio de reparación/solución
	-Aumentar la cobertura en los servicios tercerizados para disminuir costos y tiempos de respuesta	Fiabilidad humana
Procesos internos	-Aumentar la disponibilidad de los equipos y procesos	
	-Realizar una estrategia que ayude a reducir el mantenimiento correctivo y los riesgos asociados.	Gestión de la efectividad
	-Aumentar el nivel de planeamiento del mantenimiento	Índice de mantenimiento preventivo
	-Aumentar la retroalimentación con las demás dependencias internas	Planificación
	-Normalización de partes, repuestos y consumibles (cantidad y especificaciones) disminuyendo el inventario total de estas especies.	Ejecución del MP
	-Mejorar la cadena de suministros de repuestos, materiales y consumibles	Gestión de stock en bodega
		Gestión de compras
	-Aumentar la motivación y capacidad del personal.	Horas dedicadas a formación

Aprendizaje y crecimiento	-Reducir accidentes laborales.	Rendimiento
	-Aumentar la expectativa cultural del personal operativo (formación de personal para futuras plantas)	Tecnología
	-Generar y/o mejorar el ambiente tecnológico para tener acceso a la información operativa de la planta en tiempo real y así disminuir tiempos de repuestas ante servicio de mantenimiento de cualquier índole  -Aumentar el nivel de capacitación al personal	Frecuencia de accidentes

Fuente: Elaboración propia (Microsoft Word)

### 2.2.1.2 Etapas para la elaboración de un CMI

La experiencia en las organizaciones pioneras indica que el CMI tiene mayor impacto en el rendimiento del proceso sólo si es utilizado para conducir un cambio en él. El enfoque de este modelo proporciona un marco integral para el establecimiento de un sistema de gestión de mantenimiento a nivel corporativo. Cuando el enfoque del CMI se aplica a la gestión de mantenimiento, esto requiere un proceso que consta por lo general de las siguientes etapas y pasos (Tsang, 1998):

#### Etapa I.

- *Planificación Estratégica:* planificación Estratégica: Formular la estrategia para la operación de mantenimiento. Aquí se considera opciones estratégicas como: desarrollo de la capacidad de la planta, contratación de servicios de mantenimiento, aplicación del mantenimiento preventivo, etc.
- *Misión:* consiste en definir un enunciado claro y conciso de la razón de ser de la Organización, donde se describe qué necesidades pretende satisfacer y cómo hará para cumplir dicho propósito.

- *Análisis FODA*: consiste en establecer cuál es la situación del ambiente interno y externo de la Organización, obteniendo una lista de fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas, que garantizan que los objetivos y estrategias futuras estén acordes al entorno.
- *Visión*: consiste en una proyección, un análisis futurista de la organización en un plazo de tiempo determinado y que por lo tanto será el norte que se pretende alcanzar mediante la gestión estratégica.
- *Temas Estratégicos*: aquellos objetivos cuyo cumplimiento influye directamente en el logro de la estrategia Organizacional. Para este se deben confrontar las Fortalezas y Debilidades contra las Oportunidades y Amenazas.
- *Mapa estratégico*: describe la estrategia en forma gráfica, utilizando las cuatro perspectivas descritas anteriormente; con una relación lógica de causa efecto, permitiendo que la comunicación de la estrategia se vuelva efectiva.

## Etapa II.

- *Puesta en marcha*: poner en práctica la estrategia. Una vez formulada la estrategia de mantenimiento, esta se traduce en objetivos a largo plazo. Los indicadores claves de rendimiento (KPI) que se consideren importantes se deben incluir en el CMI estableciendo sus objetivos. Estas medidas deben estar enfocadas hacia la visión global de la planta de forma tal que involucren a la gente de los diferentes departamentos. De esta manera la medida de rendimiento para las operaciones de mantenimiento está relacionadas con el éxito en los negocios de toda la organización.
- *Capacitación del equipo de trabajo*: el CMI constituye el principal sistema de comunicación estratégico dentro de la Organización, por lo tanto, es fundamental capacitar al equipo de trabajo sobre los principales beneficios de la herramienta de Cuadro de Mando

Integral, con el fin de iniciar un cambio de paradigmas de la gestión actual.

- *Objetivos e indicadores de gestión:* se realizará un levantamiento de los principales objetivos por etapa o por proceso, los objetivos identifican la finalidad hacia la cual deben dirigirse los recursos y esfuerzos para dar cumplimiento a la misión. Este proceso es conocido como Árbol Estratégico de la Organización y se completa con la definición de los indicadores de gestión y forma de cálculo.
- *Asignación de responsabilidades:* este paso consiste en tomar todos los objetivos estratégicos y asignar una zona, un responsable, una meta y una iniciativa; especificarlo de manera que su evaluación y control sean eficientes.
- *Definición de metas:* Elemento cuantificador de toda la estructura definida anteriormente e implica darles un valor numérico específico a los indicadores establecidos previamente para cada Objetivo Estratégico, es decir, que constituyen las cifras con las que se medirá el desempeño de la Organización.
- *Alineación:* luego de estructurar la estrategia y asignar responsabilidades se debe verificar que los procesos, áreas, zonas y funcionarios estén adecuadamente alineados hacia la estrategia.

### Etapa III.

- *Evaluación y mejoramiento continuo:* revisión periódica del rendimiento y la estrategia. Se realizará el seguimiento y se investigarán las relaciones causales entre las medidas, que se validará a intervalos definidos. De esta forma se verá el progreso realizado en el cumplimiento de los objetivos estratégicos. El resultado de la revisión puede requerir la formulación de nuevos objetivos estratégicos, modificación de planes de acción y/o la revisión del propio modelo de gestión de mantenimiento o MCI.



### **2.2.1.3 Selección adecuada de los indicadores**

La selección de indicadores claves de rendimiento es una decisión importante que puede llegar a tener muchas implicaciones potenciales. Un conjunto de sugerencias para reforzar las implicaciones positivas de nuestro CMI (Meekings, 1995):

- El papel de los KPI's deberían estar enfocados en ser la visión y predicción de futuro y no apegarse a registros del pasado.
- Los indicadores deben utilizarse para proporcionar información, fomentar el entendimiento y la motivación, más que como una herramienta para el control de la gestión.
- Orientar los esfuerzos hacia un pensamiento sistemático, hacia el cambio estructural fundamental y el aprendizaje organizacional, en lugar de hacia la fijación de objetivos sin sentido, la continua lucha de apagar incendios y buscar responsables.
- Asegurar que los KPI's sean un marco para que todos entiendan y se alinean con los objetivos de máximo nivel de la organización, y así sean parte del proceso de mejora continua y participar activamente.

Cada KPI debe tener un nivel de rendimiento actual y futuros metas y objetivos, alejados de voluntarismos que fijen metas inalcanzables y que lleguen a desmotivar a la Organización. Estos objetivos deben ser específicos, claramente medibles y realizables (pero exigentes), realistas y en base a algún tiempo determinado, para poder realizarle un seguimiento de la mejora del rendimiento en el tiempo.

La frecuencia a la cual se medirá el KPI dependerá de la cantidad de tiempo realista que se debe esperar para ver qué acciones correctivas tengan un impacto en el medidor. Tan malo es medir demasiado como dejar parámetros fuera de control durante un tiempo.

## **2.2.2 Indicadores de clase mundial**

A partir de la metodología en las diferentes fases de implantación del CMI y mediante la recolección de datos y aplicación de fórmulas se obtienen indicadores de clase mundial, de vital importancia para la evaluación de las acciones de los diferentes departamentos, principalmente el de mantenimiento.

A continuación, se muestran los más utilizados y sus respectivas fórmulas:

### **2.2.2.1 Disponibilidad**

Este indicador es el cociente entre el tiempo medio entre fallas y la suma de este con el tiempo promedio de reparación, se expresa de manera porcentual y busca contabilizar la disponibilidad de los equipos a los que ve el Departamento y proporciona los insumos básicos a la planta.

$$D = (MTBF / (MTBF + MTTR)) \times 100$$

### **2.2.2.2 Gasto de compra de repuestos**

Este indicador consiste en el gasto de repuestos mensual por compra de repuestos destinados al mantenimiento planificado y correctivo de los equipos destinados a producción y este es calculado a partir de una simple sumatoria de las diferentes órdenes de compra.

$$Gasto\ Repuestos = \sum Costo\ de\ repuestos$$

### **2.2.2.3 Tiempo medio entre fallos (MTFB)**

Este indicador cuantifica el tiempo promedio de funcionamiento entre fallos; es la suma de los tiempos reales de operación de los equipos de producción, dividido entre el número de fallos que ocurrieron durante en el lapso medido.

$$MTBF = \sum TBF / n$$

#### **2.2.2.4 Tiempo medio de reparación (MTTR)**

Esta variable mide el tiempo medio requerido por el personal técnico para realizar una reparación en los equipos utilizados en producción, el tiempo se contabiliza desde el momento que sucede el fallo, hasta la entrega al personal de producción una vez reparada la falla y, como se menciona, su cálculo es el cociente de la suma de tiempos de reparación del equipo y la cantidad de fallos ocurridos en el lapso medido.

$$MTTR = \sum TTRn$$

#### **2.2.2.5 Porcentaje de mantenimiento correctivo**

Este indicador corresponde a la relación de mantenimientos correctivos realizados en el equipo, respecto del total de mantenimientos (planificados y correctivos) realizados en el en el mismo intervalo.

$$\% MC = (Total\ de\ acciones\ correctivas / Total\ de\ intervenciones\ en\ el\ equipo) \times 100$$

#### **2.2.2.6 Porcentaje de cumplimiento de mantenimiento planificado**

Esta variable permite contabilizar de manera porcentual de los mantenimientos ejecutados, respecto a los planificados y su cálculo se da a partir del cociente de los mantenimientos ejecutados y los planificados.

$$\% MP = (Total\ de\ mantenimientos\ realizados / Total\ de\ mantenimientos\ planificados) \times 100$$

#### **2.2.2.7 Porcentaje de entrenamientos realizados**

Este indicador mide la cantidad de entrenamientos realizados tanto a nivel interno de la empresa, como externo respecto de los planeados en el periodo laboral equivalente a un año.

$$\% \textit{Capacitación} = (\textit{Total de capacitaciones realizados} / \textit{Total de capacitaciones planificados}) \times 100$$

### **2.3 Método de análisis de criticidad y jerarquización de activos físicos**

Las técnicas de análisis de criticidad son herramientas que permiten identificar y jerarquizar por su importancia los activos de una instalación sobre los cuales vale la pena dirigir recursos, ya sean humanos, económicos y tecnológicos. A partir de estos se puede determinar la importancia y las consecuencias de los eventos potenciales de fallos de los sistemas de producción dentro del contexto operacional en el cual se desempeñan (Woodhouse, 1994).

El término “crítico” y la propia definición de criticidad puede tener diferentes interpretaciones dependiendo del objetivo que se está tratando de jerarquizar. El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta u organización, permitiendo subdividir los elementos en secciones que pueden ser manejadas de manera controlada y auditable.

Los motivos de jerarquización y priorización pueden variar según las necesidades y oportunidades de la Organización, entre ellos:

- Flexibilidad operacional
- Efecto en el proceso operacional
- Efecto en la calidad del producto
- Efecto en la seguridad, ambiente e higiene
- Costos del mantenimiento correctivo
- Condiciones de operación
- Frecuencia de fallas / confiabilidad
- Flexibilidad / accesibilidad para inspección y mantenimiento
- Disponibilidad de recursos

Los resultados que se obtienen representan la materia prima con la cual se debe iniciar cualquier proceso de optimización basado en aplicación de técnicas de ingeniería de fiabilidad y mantenimiento.

### **2.3.1 Modelo de Criticidad Semicuantitativo “CTR” (Criticidad Total por Riesgo)**

Este modelo consiste en un proceso de análisis semi cuantitativo, el cual se soporta en el concepto del riesgo, entendido como la consecuencia de multiplicar la frecuencia de un fallo por la severidad de este, a continuación, se presentan de forma detallada la expresión utilizada para jerarquizar los sistemas a partir del modelo CTR:

$$CTR = FF * C$$

Donde:

CTR: Criticidad Total por Riesgo

FF: Frecuencia de fallos (rango de fallos en un tiempo determinando (fallos/año))

C: Consecuencias de los eventos de fallos

Donde se supone además que el valor de las consecuencias (C) se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$C = (IO * FO) + CM + SHA$$

Siendo:

IO: Factor de impacto en la producción

FO: Factor de flexibilidad operacional

CM: Factor de costes de mantenimiento

SHA: Factor de impacto en seguridad, higiene y ambiente

Los factores ponderados de cada uno de los criterios por ser evaluados por la expresión de riesgo se presentan a continuación:

- Factor de Frecuencia de fallos (FF) (Escala 1-4)
  - 4: Frecuente: Mayor a 2 eventos al año
  - 3: Promedio: 1 y 2 eventos al año
  - 2: Bueno: Entre 0,5 y un evento al año
  - 1: Excelente: Menos de 0,5 eventos al año
- Factores de consecuencias
  - Impacto Operacional (IO) (Escala 1-10)
    - 10: Pérdidas de producción superiores al 75%
    - 7: Pérdidas de producción entre el 50% y el 74%
    - 5: Pérdidas de producción entre el 25% y el 49%
    - 3: Pérdidas de producción entre el 10% y el 24%
    - 1: Pérdidas de producción menor al 10%
  - Impacto por flexibilidad Operacional (FO) (Escala 1-4)
    - 4: No se cuenta con unidades de reserva para cubrir la producción, tiempos de reparación y logística muy grandes
    - 2: Se cuenta con unidades de reserva que logran cubrir de forma parcial el impacto de producción, tiempos de reparación y logística intermedios
    - 1: Se cuenta con unidades en línea, tiempos de reparación y logística pequeños
  - Impacto en Costes de Mantenimiento (CM) (Escala 1-2)
    - 2: Costes de reparación, materiales y mano de obra superiores a 20.000 dólares
    - 1: Costes de reparación, materiales y mano de obra inferiores a 20.000 dólares
  - Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente (SHA) (Escala 1-8)
    - 8: Riesgo alto de pérdidas de vida, daños graves a la salud del personal incidente ambiental mayor (catastrófico) que exceden los límites permitidos

- 6: Riesgo medio de pérdida de vida, daños importantes a la salud, incidente ambiental de difícil restauración
- 3: Riesgo mínimo de pérdida de vida y afección a la salud (recuperable en el corto plazo) incidente ambiental menor (controlable), derrames fáciles de contener y fugas repetitivas
- 1: No existe ningún riesgo de pérdida de vida, ni afección a la salud, ni daños ambientales

La selección de los factores se realiza en reuniones de trabajo con participación de los distintos departamentos involucrados en el contexto operacional del activo o etapa en estudio. Para obtener el nivel de criticidad de los equipos o sistemas, se toman los valores totales de cada uno de los factores principales: Frecuencia de fallos y Consecuencias de los fallos y se ubican en el eje vertical y el valor de consecuencias se ubica en el eje horizontal.

A partir de esto la matriz de criticidad permite jerarquizar los sistemas en tres áreas:

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

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

Figura 12. Matriz de Criticidad Modelo CTR.

Fuente: (Santos J, Gutiérrez E, Strefezza M, & Miguel Agüero. (2013)

## 2.4 Análisis y Gestión de Riesgos

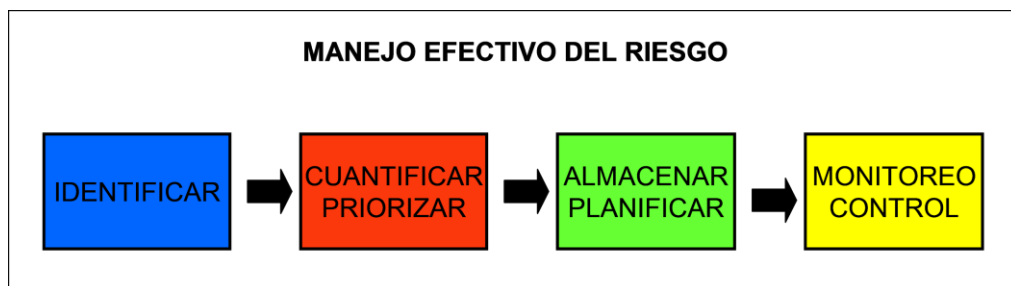
La gestión o gerencia de riesgos, en conjuntamente con la gestión de datos, análisis de la información histórica y los procesos de toma de decisiones, tienen como finalidad minimizar la incertidumbre generada por la falta de información sobre la ocurrencia de eventos y su impacto en la gestión integrada (Amendola, Depool, González y Palacio, 2005, p.)

En este sentido, la Gestión de Riesgos (Risk Management) está encaminada a predecir y manejar un evento o condición incierta que, si se produce, tiene un efecto positivo o negativo sobre al menos un objetivo del proyecto (tiempo, costo, alcance o calidad) (PMBOK, 2013); sin embargo, este concepto es aplicable a cualquier evento de un proceso industrial o planta en cualquier etapa.

Según Amendola, 2005, la Gestión de Riesgo debe integrar los procesos de:

- Planificación de la gestión de riesgos.
- Identificación y documentación de riesgos.
- Análisis de riesgos (cualitativo y cuantitativo).
- Planificación de la respuesta de riesgo.
- Seguimiento, monitoreo y control.

La Figura 12 muestra los procesos que implican el manejo efectivo de la gestión de riesgo.





### **2.4.1 Auditoría de Riesgos: Identificando y Documentando los Riesgos**

Como primer paso en el camino para la gestión de los riesgos en proyectos, se debe contar con información histórica y lecciones aprendidas de los diferentes equipos y procesos, que ayuden a identificar los riesgos típicos y evaluar el desarrollo de las respuestas frente a los mismos (Heldman, 2005).

El propósito de la identificación del riesgo es encontrar, reconocer y describir los riesgos que puedan ayudar o impedir a una organización lograr sus objetivos (ISO 31000, 2009); se pueden utilizar diferentes técnicas para identificar incertidumbres que puedan afectarlos, entre ellos:

- Fuentes de riesgos tangibles e intangibles.
- Causas y eventos.
- Amenazas y oportunidades.
- Cambios en los contextos externos e internos.
- Consecuencias e impactos en los objetivos.

La organización debería identificar los riesgos, tanto si sus fuentes están o no bajo su control; además deberán considerar que puede haber más de un tipo de resultado, que puede ocasionar diferentes consecuencias tangibles o intangibles.

### **2.4.2 Análisis del riesgo**

El propósito del análisis de riesgo es comprender la naturaleza del riesgo y sus características, implica una consideración detallada de consecuencias, probabilidades, eventos, escenarios y su eficacia. Se deberá considerar factores como:

- Probabilidad de los eventos y de las consecuencias.
- Naturaleza y magnitud de las consecuencias.

- Eficacia de controles existentes.
- Complejidad e interconexión.

El análisis de riesgos proporciona una entrada para la valoración del riesgo, para las decisiones sobre la manera de tratarlos y sobre la estrategia y métodos apropiados de tratamiento del riesgo.

La norma ISO 31000: 2009, Risk Management, recomienda que las organizaciones desarrollen, implementen y mejoren de forma continua el Marco de Gestión de Riesgo como un componente integral del sistema de gestión.

### **2.4.3 Tratamiento del riesgo**

El propósito del tratamiento de riesgos es seleccionar e implementar opciones para abordar el riesgo, las opciones para tratar el riesgo pueden ser:

- Eliminar la fuente de riesgo.
- Modificar las consecuencias.
- Compartir el riesgo (a través de contratos, compra de seguros, etc.)

Al seleccionar las diferentes opciones para el tratamiento de riesgo, la organización debería considerar los valores, las percepciones e involucrar a las partes interesadas para comunicarse con ellas y gestión alguna acción.

Además, el seguimiento y la revisión necesitan ser parte integral de la implementación del tratamiento del riesgo para asegurar que las distintas maneras del tratamiento sean y permanezcan eficaces. Los planes de tratamiento deberían integrarse en los planes y procesos de la gestión de la organización, en consulta con las partes interesadas apropiadas (ISO: 31000, 2005).

En resumen, la ISO 31000 ayuda a gestionar cualquier tipo de riesgo de una forma sistemática y creíble dentro de cualquier alcance o contexto, a continuación, se muestra las etapas en el proceso de gestión de riesgos, según la Guía ISO 73.

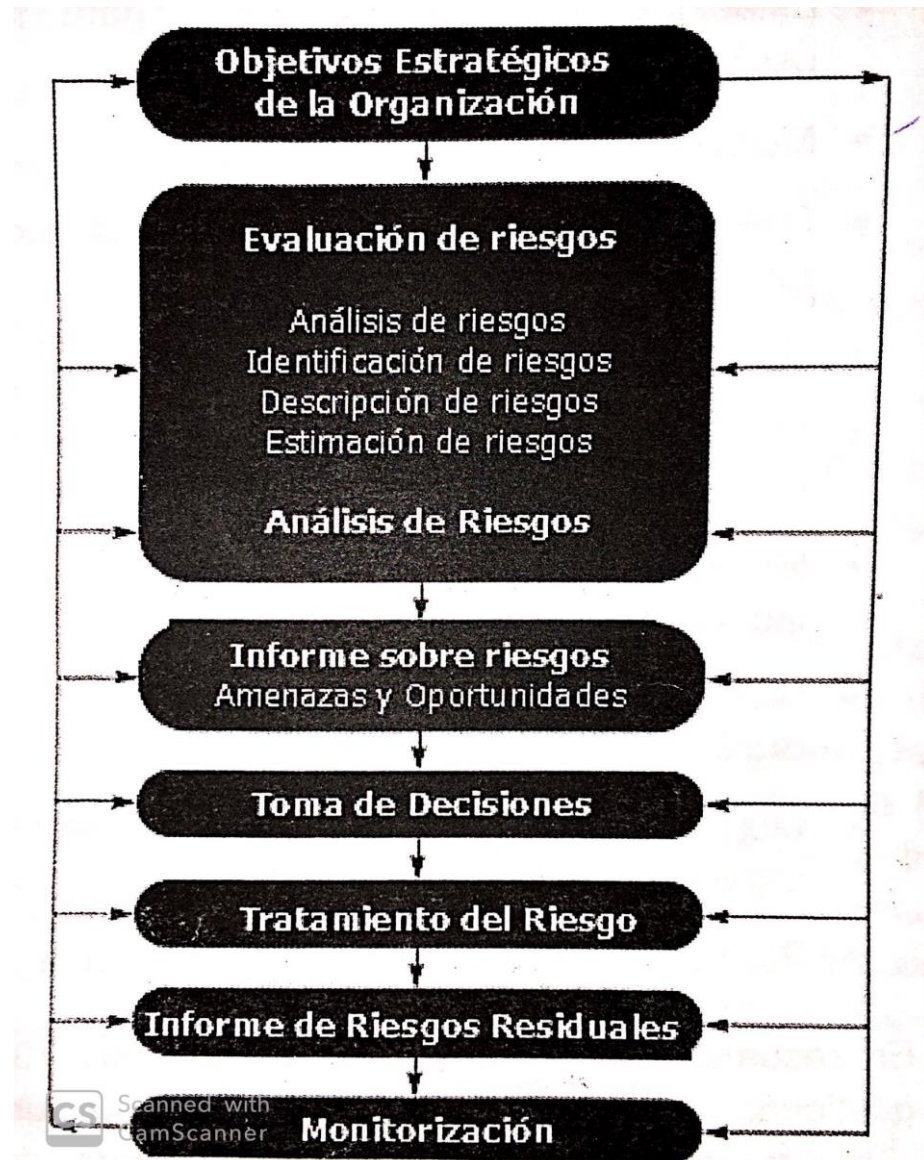


Figura 14. Etapas en el proceso de gestión de riesgos, según la Guía ISO 73.

Fuente: ()

#### 2.4.4 Modelo de Gestión de Riesgos para activos

El Modelo de Gestión de Riesgos se basa en optimizar la fase de planificación y definición de alcance de los proyectos de gestión integral, empleando herramientas de gestión de riesgos y confiabilidad. Se basa, también, en controlar la ejecución de las estrategias de identificación y control de riesgos, así como el cálculo de indicadores (Amendola L, 2004).

De esta forma se pretende usar estimados de ingeniería y tomar en consideración, no sólo la experiencia e historia, sino también sorpresas y análisis lógicos durante la fase de planificación. Por ello es necesario el uso de herramientas de confiabilidad que permitan determinar los equipos críticos, priorizar y realizar un plan de mantenimiento detallado, con el fin de optimizar el alcance del mantenimiento.

Los planes de mantenimiento deben incluir dato de costo, duración y frecuencia de programación, debido a que:

- Los atributos físicos del equipo y su ubicación en el proceso requieren unidades de trabajo específicas.
- La condición del equipo determina las combinaciones de unidades de trabajo necesarias para establecer una operación confiable.
- La planificación para el alcance de trabajos debe basarse en:  
Elementos de mantenimiento: planificación, inspección, programación, mantenimiento predictivo, mantenimiento preventivo, gerencia de recursos.  
Características del equipo: operación, calidad de los materiales.  
Rango de riesgo, análisis del ciclo de vida, simulación de procesos, tecnologías.

De igual forma, para realizar un análisis de riesgo exitoso se debe identificar el camino crítico, estimar incertidumbre en duración de actividades, ejecutar el análisis de riesgo y finalmente controlar y monitorizar los riesgos detectados (Amendola L, 2005).

## **2.5 TRICOM: software para el control del mantenimiento**

TRICOM Industrial es un software para el control de mantenimiento para el área industrial y flotillas, con el cual se puede obtener el control total del mantenimiento de una empresa (TRICOM, 2009, p.4) En otras palabras, es un

software de mantenimiento asistido por computadora; una ayuda integral en busca de los niveles de calidad, productividad y seguridad.

El TRICOM o Tribología y Control del Mantenimiento es un programa formado por diferentes módulos interconectados entre sí, que permite establecer los ciclos de mantenimiento en los equipos y partes, además de establecer inventarios de repuestos y consumibles.

Según el creador del software, Ing. Osvaldo Morera, el TRICOM reporta una serie de ventajas que las empresas han logrado utilizando la herramienta, desde mejorar la productividad hasta la competitividad en sus nichos de mercado, entre ellos:

- Optimiza los recursos, ya que un programa es capaz de planificar tanto los recursos laborales como los materiales.
- Mayor fiabilidad, debido a que reduce el tiempo en que la maquinaria está parada por avería.
- Mejora los procesos de actuación, ya que ofrece una información inmediata y actualizada de todos los componentes.
- Ofrece un mejor control sobre las actividades subcontratadas.
- Informa de la trazabilidad de la maquinaria, ya que todos los equipos van dejando una serie de indicios que el programa va recogiendo durante su utilización.
- Permite ahorrar tiempo y costes gracias a su mantenimiento preventivo.
- Facilita la contratación de datos objetiva y en tiempo real para ajustar las tareas de una forma más efectiva.
- Permite un mejor control de la documentación de los equipos, así como del stock de repuestos y el estado de los pedidos.
- Sin duda, el software de mantenimiento es una gran herramienta de apoyo para aquellas empresas que dispongan de unas instalaciones y una maquinaria difícil de controlar. Gracias a ella, las fábricas con grandes plantas de trabajo pueden ejercer un control exhaustivo sobre todos sus activos

Sin duda, el software de mantenimiento TRICOM es una gran herramienta de apoyo para aquellas empresas que dispongan de unas instalaciones y una maquinaria difícil de controlar. Gracias a ella, las fábricas con grandes plantas de trabajo pueden ejercer un control exhaustivo sobre todos sus activos.

### **2.5.1 Diagrama de Funcionamiento**

El diagrama de funcionamiento o árbol de componentes es una herramienta diseñada para definir la estructura de los equipos y de sus listas de repuestos. En la Figura 3.8.1 se muestra la estructura de árbol de componentes.

Para la realización del diagrama se debe empezar por la búsqueda de información en catálogos, manuales y demás información que permita obtener planos y listas de partes del equipo. Una vez conseguido esto, puede realizarse un despiece de este para determinar los conjuntos y materiales (repuestos) que lo componen.

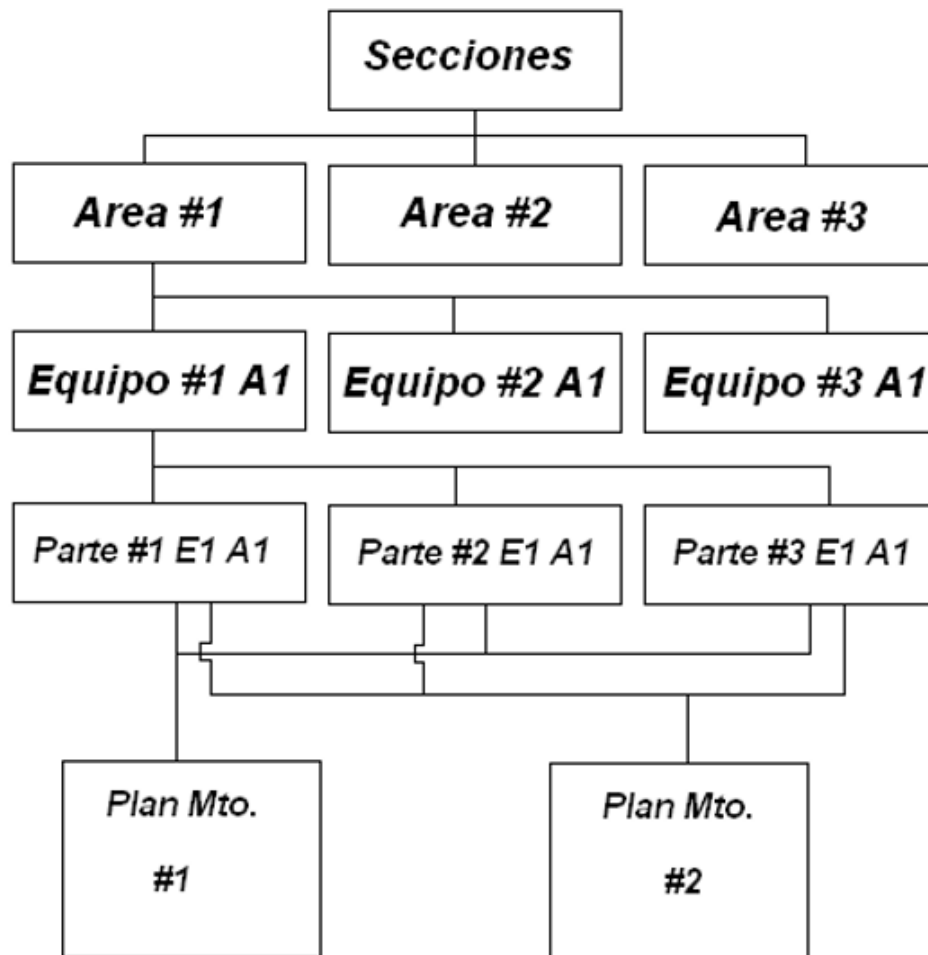


Figura 15. Diagrama de funcionamiento de la estructura de los equipos y partes en Software Tricom.

Fuente: (Tricom, 2009)

- Secciones: división más alta en Tricom; en esta se pueden incluir las divisiones o procesos generales de la planta que se requieran de acuerdo con la distribución de la empresa.
- Área: segunda división en Tricom; en esta se pueden incluir las partes de cada sección o líneas de producción o equipos muy grandes a los cuales se les debe dar mantenimiento en diferentes partes.
- Equipo: tercer nivel y el más utilizado ya que es donde se tiene la información de los equipos de planta que queremos incluir en todo el software. Estos mismos se utilizan tanto en mantenimiento preventivo,

correctivo, historiales, registro de datos técnicos y además los reportes se basan en los equipos.

- Partes: son las partes que conforman cada uno de los equipos; aquí se definen todas las partes que conforman un equipo y a las cuales le vamos a dar un plan de mantenimiento preventivo.
- Plan de Mantenimiento: acá es donde se definen los planes e inspecciones de mantenimiento

Finalmente, se debe definir cuáles repuestos necesitan ser creados en el almacén, para luego colocarlos en la estructura del Tricom asociados a equipos y/o partes.

## **2.6 Plan o programas de mantenimiento**

Los planes o programas de mantenimiento se componen de un conjunto de actividades diseñadas para garantizar la confiabilidad de los equipos, aumentar su disponibilidad y prolongar la vida útil. Este conjunto de actividades llamadas inspecciones de mantenimiento permite al planificador preparar las operaciones a realizar y disponer del personal y repuestos requeridos para las mismas.

Un plan de mantenimiento moderno consiste en la combinación de varias estrategias que deben ser escogidas para mantener la planta en operación. Las acciones llevadas a cabo mediante los planes de mantenimiento programado se realizan en intervalos regulares de tiempo. La autoridad responsable de las funciones de mantenimiento es el encargado de establecer o modificar, según se requiera, el plan de mantenimiento.

En el proceso de desarrollar el plan de mantenimiento, se debe determinar el mejor procedimiento para cada parte, estos se deben juntan para producir el plan de mantenimiento de la unidad. El desempeño de la planta y la efectividad de los procedimientos de mantenimiento normalmente se obtienen al nivel de las “unidades” ya que la disponibilidad de la unidad afecta directamente la ejecución de una determinada función o proceso.



## **CAPÍTULO 3**

### **MARCO METODOLÓGICO**

A partir del problema descrito en el capítulo 1, es necesario definir claramente el rumbo que debe tomar la organización del Departamento de Mantenimiento, por lo tanto, es necesario y de vital importancia conocer la situación actual, los recursos con los que se cuenta y cuáles son las áreas o secciones de mayor intervención mediante un levantamiento de equipos, además se desarrollará un análisis de puntos clave de la organización del departamento mediante diversas técnicas, como son, revisión de indicadores, objetivos y metas actuales, la auditoría MES como herramienta de diagnóstico, cumplimiento de presupuesto, jerarquización de equipos, recurso humano y metas como departamento.

Las fases para el diseño del modelo de gestión de mantenimiento fueron:

- Análisis de la situación actual del departamento de mantenimiento.
- Levantamiento de equipos de las distintas etapas que conforman el proceso de tratamiento de primario de aguas residuales.
- Encuesta de efectividad de mantenimiento MES al personal involucrado al departamento de mantenimiento.
- Clasificación de los equipos del proceso de tratamiento primario de aguas residuales para orientar la política de mantenimiento a aplicar.
- Identificación y análisis de los riesgos asociados al mantenimiento de los sistemas de la PTAR.
- Elaboración del Cuadro de Mando Integral para todos los niveles de gestión.

#### **3.1 Situación actual**

A partir del problema descrito en la introducción del proyecto, es necesario conocer la situación actual en la que se encuentra el Departamento de

Mantenimiento, esto es importante para conocer cuáles son los recursos con los que se cuenta y cuáles áreas necesitan mayor intervención, lo que se logra a partir del estudio de bitácoras, análisis de historiales de mantenimiento y una evaluación de efectividad en mantenimiento.

### **3.1.1 Auditoría Norma MES**

Una vez que se conoce la situación actual del Departamento de Mantenimiento, y teniendo claro sus síntomas, es necesario realizar un estudio más estructurado para evaluar la situación actual de la gestión de mantenimiento de la PTAR Los Tajos. La efectividad de la gestión de mantenimiento sólo puede ser evaluada y medida por un análisis exhaustivo de una amplia variedad de factores que, en su conjunto, constituyen la aportación del mantenimiento al sistema de producción (Parra Márquez & Crespo Márquez, 2015).

Los mismos Parra y Crespo recomiendan diversas formas de realizar el análisis exhaustivo, entre ellas la encuesta de efectividad de mantenimiento MES (por sus siglas en inglés de “Maintenance Effectiveness Survey”) que se elige porque, además de su amplia visualización de diversos temas y su simple aplicación, es un procedimiento de evaluación reciente, el cual es formulado por el Marshall Institute, por lo que se cuenta con el respaldo de un instituto líder mundial en temas de Mantenimiento y Confiabilidad.

La auditoría está basada en un cuestionario de evaluación de 60 preguntas repartidas en cinco áreas del Mantenimiento, las respuestas a cada pregunta poseen cinco posibles opciones. Las áreas de mantenimiento evaluadas son:

1. Recursos Gerenciales
2. Gerencia de la información
3. Equipos y técnicas de mantenimiento preventivo
4. Planificación y ejecución
5. Soporte, Calidad y Motivación

El sistema de puntuación de las áreas a evaluar se realiza así: las personas seleccionadas para realizar la evaluación podrán calificar 12 preguntas por cada

área en una escalada del 1 a 5 12 cada una de ellas, distribuido de la siguiente forma:

**Tabla 2.** Puntuación y Descripción de calificación norma MES

<b>Puntuación</b>	<b>Descripción</b>
1	No se cuenta o muy deficiente
2	Deficiente
3	Regular
4	Bueno
5	Excelente

Fuente: Elaboración propia (Microsoft Word)

Las puntuaciones totales de cada área se suman y se promedian entre el número de personas que realizan la encuesta. La muestra recomendada para realizar la auditoría de acuerdo con Parra y Crespo debe ser mínimo de ocho personas. Esta auditoría se aplica a nivel de personal de gerencia, supervisión y mantenimiento; y se estima la posición del mantenimiento mediante los rangos mostrados a continuación:

**Tabla 3.** Categorías de calificación norma MES.

<b>Rango de Calificación</b>	<b>Descripción del Mantenimiento</b>
300-261	“Clase Mundial” / Nivel de excelencia de mantenimiento
201-260	“Muy buena” / Nivel de buenas prácticas de mantenimiento
141-200	“Por arriba del nivel promedio” / Nivel aceptable de mantenimiento
81-140	“Por debajo del promedio” / Nivel no muy bueno de mantenimiento, con oportunidades para mejorar
Menos de 80	“Muy por debajo del promedio” / Nivel muy malo de mantenimiento, con muchas oportunidades para mejorar

Fuente: Elaboración propia (Microsoft Word)

Esta auditoría fue aplicada a los miembros del Departamento de Mantenimiento, incluyendo al coordinador de mantenimiento, los encargados del mantenimiento electrónico y eléctrico y sus respectivos técnicos, para un total de 11 personas.

### **3.1.2 Levantamiento de equipos**

Esta fase consistió en definir y documentar todos los equipos que conforman las diferentes etapas del proceso de tratamiento primario de aguas residuales, para de esta forma conocer el número de equipos actuales y definir su respectivo TAG de identificación según tipo y ubicación correspondiente dentro de la planta (Tabla 2).

Para ello, se utilizó un instructivo o documento de instrucciones “Instructivo para Codificar Instrumentos, Equipos y Cables en la Dirección RyT GAM” de AyA, realizado por el Ing. Raúl Calvo T. (Anexo 1).

El levantamiento de equipo se inició una vez conocido cada uno de los diferentes procesos de la planta y la situación actual de la Organización, validando en campo los planos con los que se contaba. Se realizó un recorrido por las diferentes etapas del proceso, tomando nota de los equipos presentes y recolectando sus datos de placa. También se observan sus distintas partes (accesorios e instrumentos) que constituyen los equipos. De esta manera se pudo descartar equipos presentes en los planos que no estaban instalados e incorporar equipos operativos en planta que no aparecían en los planos.

Una vez realizado esto, se procedió a incluir los equipos y sus respectivas partes en el software TRICOM, validando la información junto con los coordinadores del departamento de mantenimiento. De esta manera, se pudieron agregar al sistema solo los equipos instalados y en operación.

## **3.2 Desarrollo del Modelo de Gestión de Mantenimiento**

Se requiere desarrollar un modelo de manera que coexistan los objetivos de la Organización y la Institución de forma paralela a los objetivos del Departamento de Mantenimiento, partiendo del conocimiento y evaluación actual de la PTAR y el departamento de mantenimiento respectivamente.

Es por ello por lo que, a partir de los resultados de la auditoría y evaluación de la situación actual de la PTAR, se propone realizar un modelo de gestión de mantenimiento en una serie de etapas para la gestión integral de mantenimiento (Figura #9, sección 6.1.1). Éstas determinan de forma precisa el curso de acciones a llevar a cabo para asegurar la mejora continua, la eficiencia y eficacia.

### **3.2.1 Etapa I**

Este tiene como base inicial el enfoque por medio de la Misión, Visión, Objetivos, Normas y Políticas Nacionales, así como los propósitos y estrategias de la PTAR y los indicadores y objetivos del Departamento de Mantenimiento, todo esto de acuerdo con las necesidades observadas y los requisitos de las partes interesadas. Esta etapa es la que le da valor al modelo, que sirve como soporte para las demás etapas.

### **3.2.2 Etapa II**

En esta etapa del modelo de Gestión de Mantenimiento se plantean tareas a corto, mediano y largo plazo en busca de cumplir con los objetivos del departamento de mantenimiento: aumentar la disponibilidad de los equipos. Para esto se define a corto plazo el análisis de la situación actual en la que se encuentra la Organización y el Departamento de Mantenimiento, esto mediante la aplicación de la norma propuesta por el Instituto Marshall acerca de la Gestión en Mantenimiento.

Además, se realiza la jerarquización de equipos mediante técnicas de cálculo de criticidad de equipos que involucran el riesgo asociado al fallo de cada uno de ellos, de manera que como se menciona en secciones anteriores, se pueda conocer en cuáles equipos el Departamento debe invertir mayor esfuerzo y establecer cuáles son los equipos fundamentales en el proceso de saneamiento y en sí, la

programación de los planes de mantenimiento ya sean correctivos, preventivos y predictivos

Las tareas a mediano plazo involucran todas aquellas estrategias de mantenimiento que impactan la condición de operación de los equipos, tomando en cuenta las intervenciones correctivas y preventivas, además de estrategias predictivas aplicables en los planes de mantenimiento. Aparte, se toma en cuenta el análisis de riesgo como amenazas y oportunidades para la implementación de las estrategias y la definición de recursos que se deben establecer, de modo que se gestione tanto al personal como los equipos y herramientas de seguridad, repuestos y tiempo dedicado a mantenimiento.

Por último, la meta a largo plazo consiste en lograr la disponibilidad de los equipos y permita conservar en condiciones de funcionamiento seguro y eficiente todo el equipo de tratamiento de aguas residuales y con esto lograr los objetivos estratégicos de la planta y el departamento en busca de un sistema integral que permita controlar y evaluar el impacto del mantenimiento.

### **3.3 Jerarquización de los equipos**

Para realizar una jerarquización de equipos y determinar la criticidad en el proceso de tratamiento de aguas residuales se utiliza el método CTR (Criticidad Total por Riesgo), el cual como se menciona en el capítulo 3, consiste en un sistema de puntuación que considera aspectos como Frecuencia de fallos (FF), impacto en la producción (IC), impacto por baja mantenibilidad (IP), impacto por costo de mantenimiento (BM), impactos en calidad (CM) e impacto en seguridad, ambiente (SHA). A partir de estos criterios se hacen las respectivas consultas al supervisor de Mantenimiento, al Departamento de Producción y se consultó también al Departamento Ambiente, Salud y Seguridad con el fin de obtener una puntuación con criterio ingenieril para los factores anteriormente mencionados.

A continuación, se presenta las líneas a las cuales se les va aplicar el análisis de criticidad de equipos dentro de la PTAR y sistema que conforma el proceso de tratamiento de aguas residuales:

- Línea de Agua
- Línea de Lodos
- Línea de Gas
- Desodorización

### **3.3.1 Análisis de Criticidad por metodología CTR (Criticidad Total por Riesgo)**

De acuerdo con la sección 2.7.1 se realiza un documento en Excel (Apéndice 2) como herramienta para identificar y clasificar por su importancia los diferentes equipos y partes sobre los cuales vale la pena dirigir los recursos.

El modelo de criticidad está basado en un análisis semicuantitativo soportado en el concepto de riesgo, con el objetivo de fortalecer la gestión de saneamiento de aguas residuales. Se identifica a través de la estimación de riesgo de las siguientes expresiones:

$$CTR = FF * C$$

Donde:

CTR: Criticidad Total por Riesgo

FF: Frecuencia de fallos (rango de fallos en un tiempo determinando (fallos/año))

C: Consecuencias de los eventos de fallos

Donde el valor de las consecuencias (C) se obtiene a partir de la expresión:

$$C = (SHA \times 0.2) + (IC \times 0.2) + (IP \times 0.2) + (BM \times 0.2) + (CM \times 0.2)$$

Siendo:

SHA: Impacto en Seguridad y Ambiente

IC: Impacto en Producción

IP: Impacto por Baja Mantenibilidad

BM: Impacto por Costo de Mantenimiento

CM: Impacto en la Calidad

A continuación, se presenta una tabla con los factores ponderados diseñados para el proceso de criticidad de elementos como frecuencia y consecuencias de fallos.

**Tabla 4.** Factores ponderados de evaluación, diseñados para el proceso de jerarquización de equipos según frecuencia y consecuencia de fallos.

Factores		Puntuación	Criterios	Responsable
Frecuencia de Fallos	FF	1	Excelente: 0 eventos al año	Practicante
		2	Bueno: 1 evento al año	
		3	Promedio: 2 eventos al año	
		4	Frecuente: mayor a 2 eventos al año	
Impacto en Seguridad y Medio Ambiente	SHA	1	No existe ningún riesgo de pérdida de vida, ni afección a la salud, ni daños ambientales	Gestor de Calidad Ambiental y Especialista en Seguridad y Salud
		3	Riesgo mínimo de pérdida de vida (Lesión localizada) y afección a la salud (recuperable en el corto plazo) incidente ambiental menor (controlable), derrames fáciles de contener y fugas repetitivas	
		4	Riesgo medio de pérdida de vida, daños importantes a la salud, incidente ambiental de difícil restauración	



		5	Riesgo alto de pérdidas de vida, daños graves a la salud del personal incidente ambiental mayor (catastrófico) que exceden los límites permitidos	
Impacto Operacional en el Proceso de Tratamiento de Agua	IP	1	Pérdidas de eficacia en el proceso de la PTAR menor al 10%	Coordinador de Operación
		2	Pérdidas de eficacia en el proceso de la PTAR entre el 10% y el 24%	
		3	Pérdidas de eficacia en el proceso de la PTAR entre el 25% y el 49%	
		4	Pérdidas de eficacia en el proceso de la PTAR entre el 50% y el 74%	
		5	Pérdidas de eficacia en el proceso de la PTAR superiores al 75%	
Impacto por Flexibilidad Operacional	BM	1	Se cuentan con unidades de reserva, tiempos de reparación aceptables	Coordinador de Mantenimiento
		3	Se cuenta con unidades de reserva que cubren parcialmente el proceso de la PTAR	
		5	No se cuenta con unidades de reserva para cubrir el proceso adecuado de la PTAR	
Impacto en Costos de Mantenimiento	CM	1	Costos de reparación con materiales y mano de obra inferiores al 10% del valor del equipo	Coordinador de Mantenimiento
		2	Costos de reparación con materiales y mano de obra entre el 10% y 24% del valor del equipo	
		3	Costos de reparación con materiales y mano de obra entre el 25% y 49% del valor del equipo	
		4	Costos de reparación con materiales y mano de obra entre el 50% y 74% del valor del equipo	
Impacto en la Calidad	IC	1	La calidad del servicio no se ve afectado	Encargado de Proceso y Laboratorio Químico
		3	Presenta una afectación mínima en la calidad del servicio	

		5	Presenta una afectación considerable en la calidad del servicio	
--	--	---	---	--

Fuente: (Propia, Excel 2019)

Esta evaluación, como se muestra en la Tabla XV fue realizada junto con los diferentes coordinadores de áreas de operación, mantenimiento, seguridad y ambiente en distintas reuniones realizadas en la planta, con el fin de obtener el nivel de criticidad de los equipos y/o procesos.

### 3.4 Cuadro de Mando Integral (CMI)

El verdadero poder de los sistemas de indicadores y cuadros de mando aparece cuando se convierten en una herramienta clave para la mejora de la Gestión en Mantenimiento (Parra & Crespo, 2015). Como se menciona anteriormente en el Capítulo 3, el CMI busca resolver los problemas de falta de análisis de la información recolectada por el Departamento, impactando directamente a la planificación del departamento, la gestión del mantenimiento preventivo y correctivo.

Además de integrar al grupo de trabajo en busca de los objetivos y metas establecidas, los cuadros de mando integral sirven para:

- Comunicar la estrategia a toda la organización.
- Alinear los objetivos del Departamento con la estrategia.
- Realizar revisiones periódicas y sistemáticas, y obtener la retroalimentación correspondiente para mejorar las estrategias del negocio.
- Vincular los objetivos a largo plazo y los presupuestos anuales de mantenimiento.

#### 3.4.1 Metodología

Para el desarrollo del Cuadro de Mando Integral se planteó la siguiente metodología:

- Se analiza la misión, visión, estrategia y responsabilidades del Departamento con el fin de establecer los objetivos estratégicos con los que se va a trabajar.
- Se realiza un análisis FODA con el cual se definan las debilidades y fortalezas entre los otros Departamentos.
- Se elaboran los objetivos estratégicos, basándose en las necesidades planteadas por la gerencia y el Departamento de Mantenimiento.
- Se identifican los indicadores que puedan servir como medio para el logro de objetivos ya establecidos.
- Se definen las metas para cada uno de los indicadores propuestos.
- Se realiza la propuesta del Cuadro de Mando Integral junto con una herramienta que permita el registro de la información de los indicadores seleccionados.
- Finalmente se realiza el CMI en forma de pizarra, para que la información obtenida sea de conocimiento público.

### **3.5 Evaluación de riesgos**

El análisis y evaluación de riesgos se realiza en conjunto con la Especialista de Seguridad y Salud, y el Departamento de Mantenimiento, con la finalidad de minimizar la incertidumbre generada por la falta de información sobre los riesgos potenciales de trabajos de mantenimiento en áreas o procesos de la PTAR.

#### **3.5.1 Identificación de riesgos**

Para proteger al personal de situaciones que amenazan la vida y salud dentro y fuera de la PTAR, se identificaron mediante diferentes técnicas en un documento Excel (Anexo #3) consecuencias tangibles e intangibles de información de potenciales riesgos en trabajos de mantenimiento a técnicos de la planta mediante una matriz de tareas peligrosas, identificadas según el área o proceso de la planta.

### **3.5.2 Análisis del riesgo**

Una vez identificado los riesgos en los distintos trabajos y áreas peligrosas, el siguiente paso es comprender la naturaleza del riesgo y sus características: probabilidades, eventos, consecuencias, nivel de riesgo, etc. Es por ello que, con ayuda de la ISO 31000, se gestionan los riesgos de forma sistemática y creíble, considerando controles y probabilidades en cada uno de los riesgos mencionados.

### **3.5.2 Tratamiento de riesgos**

La especialista de Seguridad y Salud selecciona e implementa opciones para abordar los riesgos identificados con el fin de eliminarlos, modificarlos o compartirlos a través de terceros y comunica al departamento de mantenimiento para así poder gestionar (por medio de órdenes de trabajo o procedimientos) alguna acción.

El seguimiento y la revisión es parte integral de la implementación del tratamiento del riesgo, por ello se deben involucrar en los planes o procesos de la gestión de mantenimiento.

### **3.6 Diseño de Planes de Mantenimiento de los equipos**

La creación de los planes de mantenimiento de los equipos y sus partes es uno de los últimos pasos del proyecto. Se basa en el diseño de planes o programas de mantenimiento que se componen de un conjunto de actividades diseñadas para garantizar la confiabilidad de los equipos, aumentar su disponibilidad y prolongar la vida útil.

#### **3.6.1 Metodología empleada**

La elaboración de los planes de mantenimiento comienza por la recolección de información de manuales, catálogos del fabricante y recomendaciones de Acciona-Agua, completando con la opinión del personal de mantenimiento de la planta y fuentes de información como historiales de equipos.

Además, otra fuente para la elaboración y modificación de estrategias de mantenimiento son los resultados de la evaluación de riesgos asociados al mantenimiento.

Una vez conocidas las actividades sugeridas y realizado los planes de mantenimiento, se determina la frecuencia y periodicidad de las acciones del plan, así como su procedimiento si necesita de algún permiso de altura o cualquier otro correspondiente a un riesgo; luego se procede con reuniones con los supervisores de mantenimiento para que estos validarán los planes de mantenimiento propuestos. Primero, el plan preventivo, junto con las inspecciones periódicas, se realizaron por medio de Excel 2018 y luego se incluyeron en el software Tricom.

Este programa preventivo se propuso con acciones de lubricación, limpieza, revisión y cambio general, de las cuales se explicará su importancia a continuación.

- **Lubricación:** Esta es la acción más importante que se debe realizar en mantenimiento, pues es la que se encarga de mantener las piezas en un movimiento libre de fricción, por ende, alarga la vida útil de los mismos.

- Limpieza: Aunque es una de las acciones más simples y básicas, mejora el funcionamiento de las máquinas, ya que las partículas de polvo generan desgaste y falsos contactos. Además, una buena limpieza permite identificar fugas o fallas menores.
- Revisión: Este tipo acción se realiza con la finalidad de verificar el correcto funcionamiento del equipo, observar condición de elementos menores y reportarlos para evitar alguna falla.
- Cambio general: Después de un tiempo determinado, o según las horas laboradas por el equipo, se deben cambiar algunas piezas para evitar que estas fallen y llegue a provocar un paro de la máquina o deteriorar alguna otra pieza.

### **3.6.2 Manual de Mantenimiento**

El manual de mantenimiento es aquel instructivo que tiene las indicaciones de las acciones preventivas a realizar, donde a cada parte de la máquina se le debe incluir la frecuencia con que se vaya a realizar, sea semanal, mensual o anual, según los requerimientos de los equipos; además, se destinó una columna con la duración en minutos de los trabajos realizados, lo cual luego ayudará a programar dichas acciones y delimitar cuál es la más crítica o la que lleve más tiempo para realizar la reparación.

Los datos de tiempo en reparación y frecuencia de aplicación, permitirán evaluar cuánto costará el plan de mantenimiento preventivo en cuanto mano de obra y luego, sumado la adquisición de repuestos.

### **3.7 TRICOM: Software para el control de mantenimiento**

Se inicia con las secciones y áreas de la planta definido en la sección 3.1.3; aquí se asigna un código a las secciones y áreas y su descripción, a cada área le corresponde un grupo de equipos de acuerdo al sistema o proceso de la planta, por lo cual se debe realizar el levantamiento de los equipos en este mismo orden.

Estos equipos se deben de codificar de acuerdo al área que pertenecen y a la cantidad de equipos existentes en cada una de las áreas.

### 3.6.1 Secciones

En esta se incluyen divisiones de la planta que se requieren de acuerdo a la distribución de la PTAR. Se debe dar un código alfanumérico a cada sección, así como la descripción y los demás datos.



Figura 16. Ventana de inclusión de Secciones.

(Fuente: Tricom, 2009)

### 3.6.2 Áreas

En esta se incluyen las partes de cada sección o equipos muy grandes a los cuales se les debe dar mantenimiento en diferentes partes. Se debe seleccionar primer la sección a la cual le vamos a asignar áreas y a cada una de estas se le debe de dar un código alfanumérico, así como la descripción y los demás datos.

Figura 17. Ventana de inclusión de Áreas.

(Fuente: Tricom, 2009)

### 3.6.3 Equipos

Se debe seleccionar primero la sección y el área a la cuales le vamos a asignar equipos de acuerdo con la distribución de los mismos en planta y a cada uno de estos se le debe asignar un código alfanumérico, así como la descripción y los demás datos.



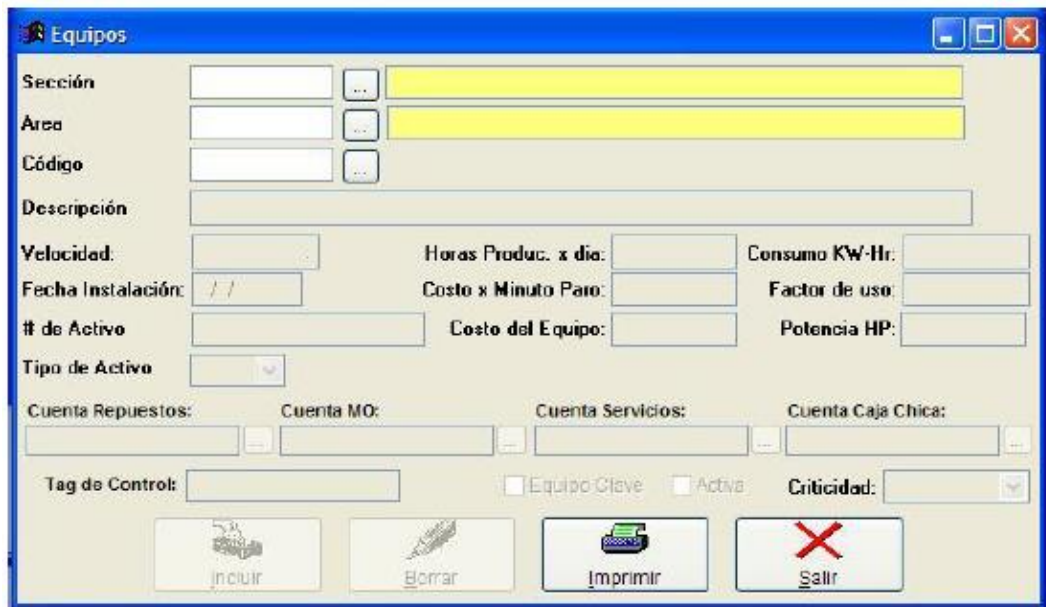


Figura 18. Ventana de inclusión de Equipos.

(Fuente: Tricom, 2009)

### 3.6.4 Partes de los Equipos

Se debe seleccionar primero la sección, área y equipo a las cuales se le van a asignar partes de acuerdo con la configuración de cada equipo de la planta y a cada uno de estas se le debe dar un código alfanumérico, así como la descripción, ubicación, manual y plano.

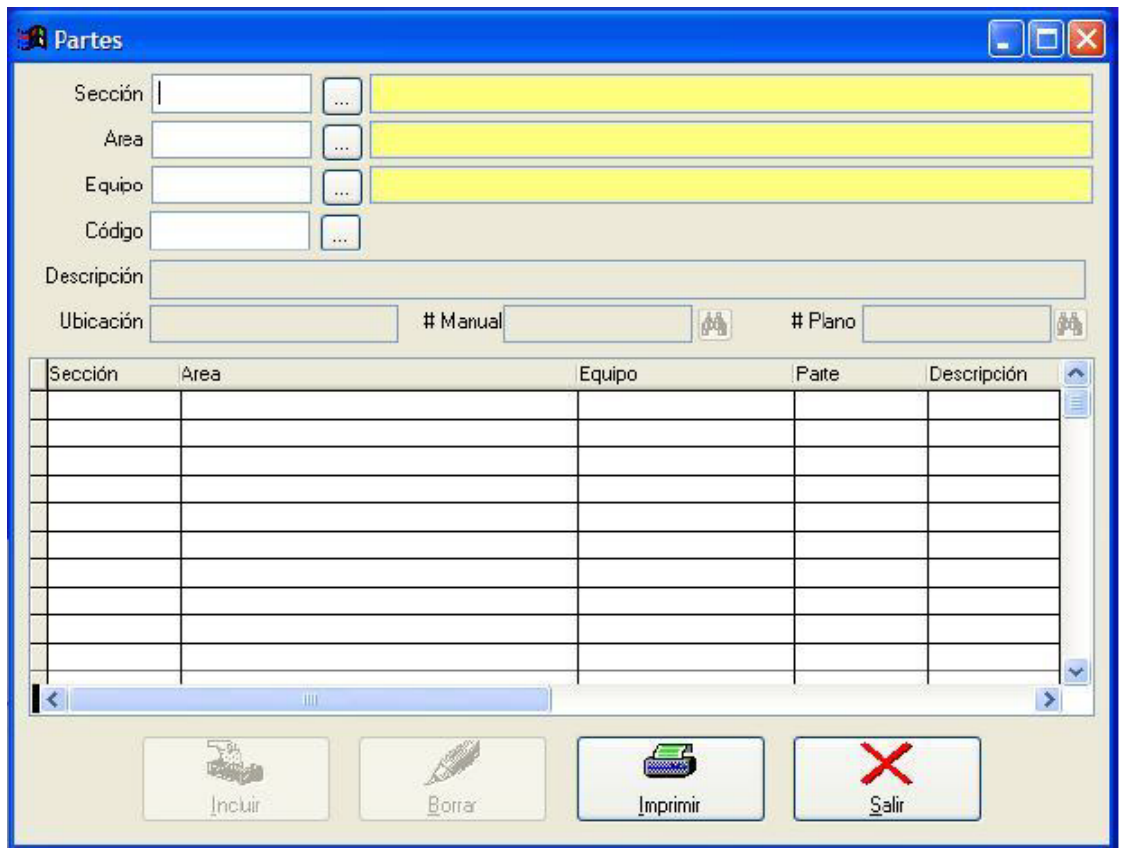


Figura 19. Ventana de inclusión de Partes de los Equipos.

(Fuente: Tricom, 2009)

### 3.6.5 Planes de Mantenimiento

En esta sección es donde se definen o se editan los planes de mantenimiento e inspecciones de mantenimiento de la siguiente manera:

1. Definir el código y la descripción del plan de mantenimiento o se selecciona uno ya existente y dar clic sobre el botón "Incluir".
2. Definir código y descripción de la inspección y dar clic sobre el botón "Incluir".

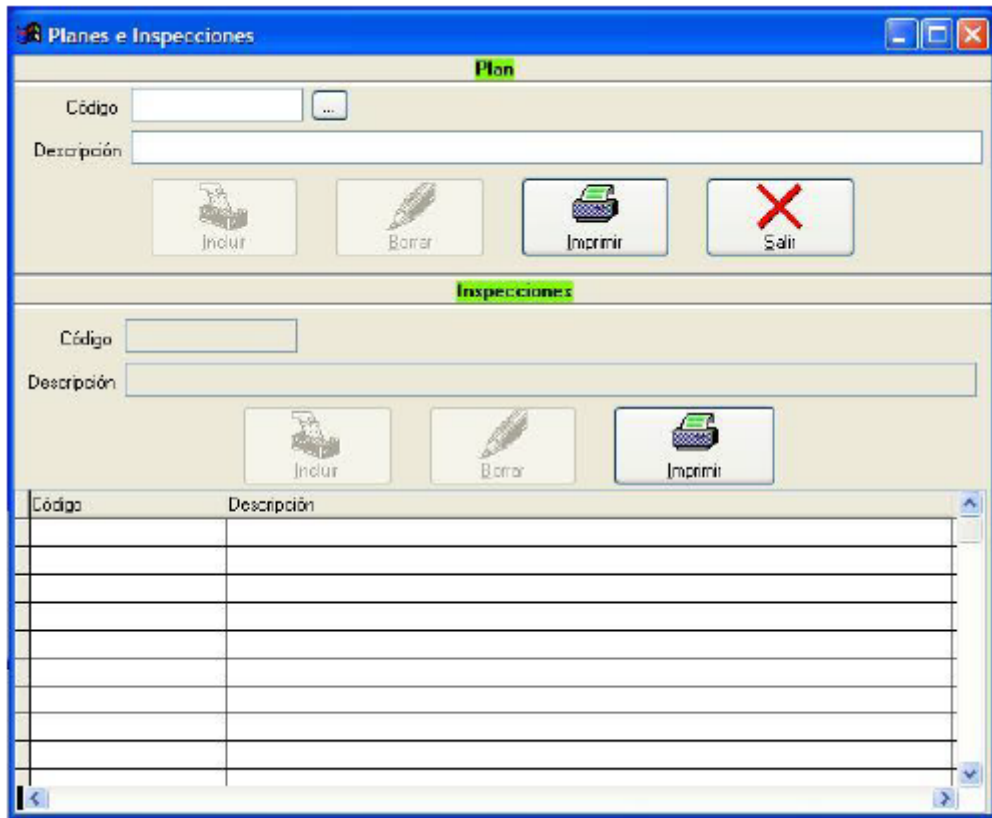


Figura 20. Ventana de inclusión de Planes e Inspecciones.

(Fuente: Tricom, 2009)

Luego de definir los códigos y las descripciones de los planes e inspecciones se debe de acceder a la siguiente opción del submenú "Planes de Mantenimiento", denominada: "Integración de Planes de Mantenimiento", es en esta pantalla donde se incluye todos los datos relacionados con las inspecciones como: especialidad, frecuencia, tiempo, tipo de mantenimiento, etc.

### 3.6.6 Integración de Planes de Mantenimiento

En esta sección se define toda la información respectiva sobre las inspecciones de los planes de mantenimiento, de la siguiente manera:

1. Se selecciona el plan de mantenimiento y la inspección correspondiente, las cuales fueron definidas anteriormente, o bien se selecciona una inspección ya existente la cual queremos modificar.

2. Seguidamente incluimos todos los datos correspondientes a la inspección como: tipo de mantenimiento, frecuencia, rango, tiempo para la inspección, método, tipo y cantidad de lubricante en el caso que la inspección corresponda al tipo de mantenimiento de lubricación, especialidad del personal a realizar la inspección, la cuenta presupuestaria a la que se va a cargar el trabajo y la instrucción o descripción de la labor que se debe llevar a cabo con tendencia a revisar, reportar o cambiar si es necesario.
3. Finalmente, damos clic en el botón de "Actualizar" para aceptar la inspección, o bien damos clic en el botón "Borrar" si queremos eliminar alguna inspección de un plan de mantenimiento.

The screenshot shows a software window titled "Integración de Planes de Mantenimiento". It features several input fields and a table. The fields include "Plan:", "Inspección:", "Tipo de Mo.", "Frecuencia:", "Rango:", "Tiempo:", "Minutos", "Método:", "# de Puntos:", "Lubricante:", "Cantidad:", "Con Paico", "Especialidad:", and "Cuenta Presup.". There are also radio buttons for "Lectura" and "Días". A large text area is labeled "Instrucción:". Below the fields is a table titled "Inspecciones Incluidas" with columns: "Plan", "Desc. Plan", "Inspección", "Desc. Inspección", "Tipo Mto", and "Frecue". At the bottom of the window are three buttons: "Incluir" (with a gear icon), "Borrar" (with a pencil icon), and "Salir" (with a red X icon).

Figura 21. Ventana de Integración de Planes de Mantenimiento.

(Fuente: Tricom, 2009)

### 3.6.7 Integración de Equipos y Planes de Mantenimiento

En esta opción, Tricom permite acceder a una pantalla dinámica que facilita al usuario de una manera rápida llevar a cabo visualizaciones mediante listas desplegables tipo "árbol" las secciones, áreas y equipos con su respectiva codificación, consulta rápida mediante botones de datos técnicos e historiales de los equipos y asignar planes de mantenimiento a las partes y sub-partes de los equipos.

Para asignar un plan de mantenimiento a las partes de los equipos, se debe seguir los siguientes pasos:

1. Primeramente, los Planes de Mantenimiento ya tienen que haber sido definidos, como también las partes y sub-partes de los equipos también tienen que haber sido definidas.
2. Seleccionar de la vista desplegable (tipo árbol) la Sección donde se encuentra el equipo al que le vamos a asignar el Plan de Mantenimiento, automáticamente se despliegan las áreas correspondientes a dicha sección.
3. Seleccionar el Área donde se encuentra el equipo al que le vamos a asignar el Plan de Mantenimiento, automáticamente se despliegan los equipos correspondientes a dicha área.
4. Seleccionar el equipo al que le vamos a asignar el Plan de Mantenimiento, automáticamente se activan las partes y sub-partes correspondientes de los equipos.
5. Seleccionar la parte o sub-partes a la que le vamos a asignar el Plan de Mantenimiento, automáticamente se activa el botón "Preventivo".
6. Dar clic sobre el botón "Preventivo" para tener acceso a la pantalla en donde podemos asignar los Planes de Mantenimiento.
7. Una vez dentro de la pantalla de Mantenimiento Preventivo, damos clic sobre el botón "Asignar Plan de Mantenimiento" y seleccionamos el plan deseado con doble clic.
8. Finalmente se debe dar clic sobre el botón "Actualizar" para incluir/actualizar el Plan de Mantenimiento.

9. Es posible también en esta sección borrar y/o incluir nuevas inspecciones.

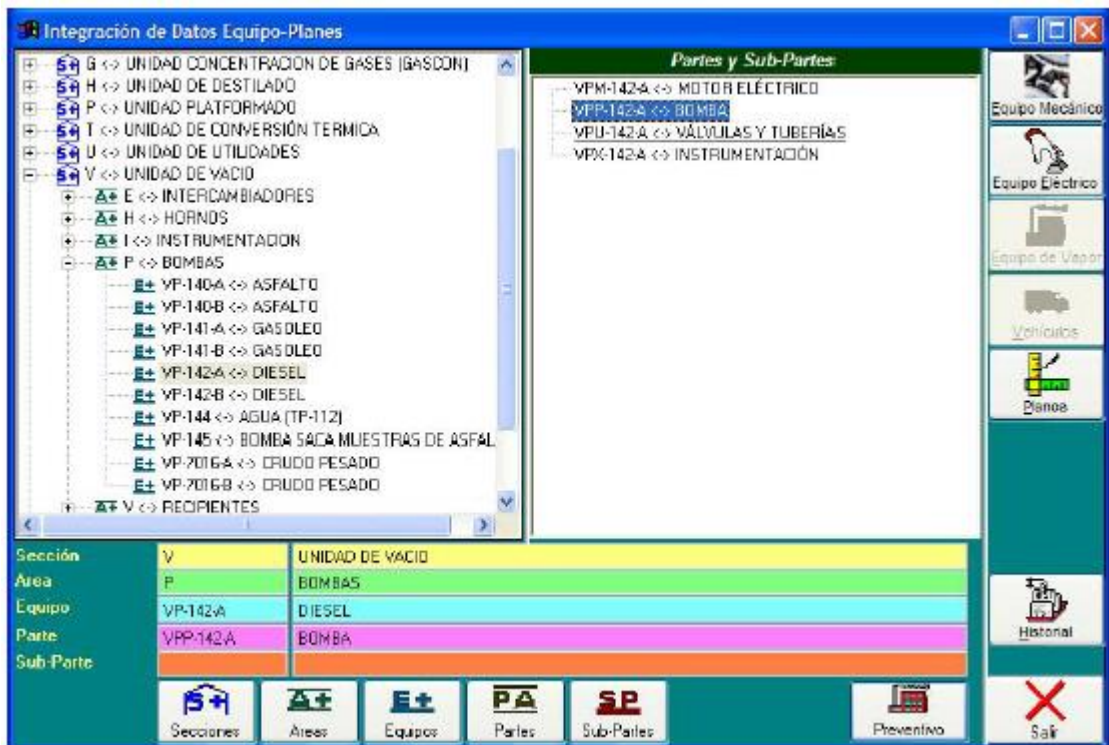


Figura 22. Ventana de Integración de Datos Equipos-Planes.

(Fuente: Tricom, 2009)

## CAPÍTULO 4

### ANÁLISIS DEPARTAMENTAL

#### 4.1 Situación actual

El Departamento de Mantenimiento de la PTAR está compuesto por el Coordinador de Mantenimiento (Ingeniero en Mantenimiento Industrial) y los encargados de la parte eléctrica (Ingeniero Eléctrico), mecánica (Ingeniero Industrial) y electrónica (Ingeniero Electrónico), ellos se han encargado en desarrollar un modelo de gestión de mantenimiento que cuenta con una estructura más o menos definida que al parecer no es capaz de alcanzar un buen desempeño y cuyos objetivos no están alineados a todo el nivel organizacional.

Cuentan con un documento en Excel de programación de actividades planificadas de tipo preventivas y predictivas, además de un formato de OT's para el registro de estas mismas y de eventos tipo correctivos; sin embargo, no se registra de manera efectiva la información obtenida, ya que no se documenta ningún dato en el sistema, si no que queda en las OT's y en su mayoría de veces mal hechas (TAG's, fechas, tipo de mantenimiento, etc. incorrectos), dejando un gran vacío entre los resultados registrados y reales.

Actualmente cuenta con algunos indicadores ya definidos, estos miden el cumplimiento de las OT's, la capacitación del personal, el presupuesto ejecutado, mantenimiento correctivo y la creación y valor de protocolos de sistemas primordiales en la PTAR Los Tajos. Serán evaluados en el CMI y en caso de ser necesario replanteados, de manera que identifiquen las necesidades del Departamento y permitan el cumplimiento de los objetivos de la Organización; mediante la elaboración del CMI se verá reflejado más adelante.

La gestión de la bodega de repuestos no tiene un orden establecido ni una rotulación apropiada, a pesar de que se separa por tipo de equipo (eléctrico, mecánico y electrónico o instrumento) algunas se encuentran mezcladas, sin fecha

de ingreso, sin codificación e incluso pérdidas del todo. Se toma tiempo en buscarlos y determinar si existe en bodega, esto retrasa las labores de mantenimiento, lo cual aumenta el tiempo de parada del equipo, los costos del mantenimiento y dependiendo del equipo. la calidad en el proceso de saneamiento de las aguas residuales.

Aunado a ello, se desea poder utilizar el software de mantenimiento disponible para unificar las labores de programación y control de Mantenimiento Preventivo y Predictivo de los equipos en las diferentes áreas y secciones de la planta, pero no existe información ni conocimiento alguno del software.

La situación actual se refleja mejor en la evaluación que se realice con la Norma MES de encuesta de efectividad de mantenimiento, la cual evidenciará mediante gráficos las brechas existentes en los pilares del mantenimiento.

#### **4.1.1 Levantamiento de equipos**

Esta fase consistió en definir y documentar todos los equipos que conforman las líneas del proceso de tratamiento de aguas residuales en la PTAR Los Tajos; el levantamiento de equipo se inició conociendo la nomenclatura de códigos de equipos y la de secciones ya mencionada anteriormente.

Validando en campo los planos de la planta e información del SCADA con los que se contaba. Para ello se realizó un recorrido por las diferentes áreas y secciones del proceso, observando los distintos accesorios e instrumentos que constituían la planta de tratamiento. De esta forma se pudo descartar e incluir equipos del sistema de información.

Una vez realizado esto, se procedió a hacer una revisión de la lista de los equipos colocados en el sistema de información para compararla con la data tomada del levantamiento hecho en campo. De esta manera, se pudieron agregar al sistema equipos faltantes, así como solicitar la eliminación de equipos no instalados.



**Tabla 6.** Levantamiento de Equipos: resultados de equipos y partes registradas antes y después.

	Equipos	Partes
Antes	208	1110
Después	330	833

Fuente: (Propia, Word 2019)

Seguidamente, con la información tomada se procedió a emitir una lista definitiva con todos los equipos instalados en planta hasta ese momento, así como el estatus de aquellos que estaban montados en el SCADA. Se utilizó un formato en Excel para la identificación y documentación de información como el mostrado en la Figura XC y se cargó la información al software TRICOM.

dseccion	darea	seccion	area	equipo	dequipo	activo	tag
DESBASTE	Obra de llegada/Pozo de Gruesos	01	110	CBV-001	CUCHARA BIVALVA POZO DE GRUESOS	N	CBV-110-001
DESBASTE	Obra de llegada/Pozo de Gruesos	01	110	COM-002	COMPUERTA BYPASS PLANTA	S	COM-110-002
DESBASTE	Obra de llegada/Pozo de Gruesos	01	110	COM-003	COMPUERTA ENTRADA A POZO GRUESOS	S	COM-110-003
DESBASTE	Obra de llegada/Pozo de Gruesos	01	110	FT-001	MEDIDOR DE CAUDAL ENTRADA AGUA BRUTA	S	FT-110-001
DESBASTE	Obra de llegada/Pozo de Gruesos	01	110	FT-004	MEDIDOR DE CAUDAL POZO DE GRUESOS	S	FT-110-004
DESBASTE	Obra de llegada/Pozo de Gruesos	01	110	GRV-001	GRÚA DESARENADO MOTOR PRINCIPAL 5T	S	GRV-110-001
DESBASTE	Desbaste	01	120	COC-001	COMPUERTA ENTRADA CANAL DESBASTE - A	S	COC-120-001
DESBASTE	Desbaste	01	120	COC-002	COMPUERTA ENTRADA CANAL DESBASTE - B	S	COC-120-002
DESBASTE	Desbaste	01	120	COC-003	COMPUERTA ENTRADA CANAL DESBASTE - C	S	COC-120-003
DESBASTE	Desbaste	01	120	COC-004	COMPUERTA SALIDA CANAL DESBASTE - A	S	COC-120-004
DESBASTE	Desbaste	01	120	COC-005	COMPUERTA SALIDA CANAL DESBASTE - B	S	COC-120-005
DESBASTE	Desbaste	01	120	COC-006	COMPUERTA SALIDA CANAL DESBASTE - C	S	COC-120-006
DESBASTE	Desbaste	01	120	EMG-001	ESTACION DE MEDICIÓN DE GASES DESBASTE	S	EMG-120-001
DESBASTE	Desbaste	01	120	LSH-001	NIVEL PREVIO REJA GRUESOS CANAL - A	S	LSH-120-001
DESBASTE	Desbaste	01	120	LSH-002	NIVEL PREVIO REJA GRUESOS CANAL - B	S	LSH-120-002
DESBASTE	Desbaste	01	120	LSH-003	NIVEL PREVIO REJA GRUESOS CANAL - C	S	LSH-120-003
DESBASTE	Desbaste	01	120	LSH-004	NIVEL VERTEDERO	S	LSH-120-004
DESBASTE	Desbaste	01	120	LSH-005	NIVEL PREVIO REJA GRUESOS CANAL - A	S	LSH-120-005
DESBASTE	Desbaste	01	120	LSH-006	NIVEL PREVIO TAMIZ FINOS CANAL - A	S	LSH-120-006
DESBASTE	Desbaste	01	120	LSH-007	NIVEL PREVIO REJA GRUESOS CANAL - B	S	LSH-120-007
DESBASTE	Desbaste	01	120	LSH-008	NIVEL PREVIO TAMIZ FINOS CANAL - B	S	LSH-120-008
DESBASTE	Desbaste	01	120	LSL-001	NIVEL CANAL DESBASTE - A	S	LSL-120-001
DESBASTE	Desbaste	01	120	LSL-002	NIVEL CANAL DESBASTE - B	S	LSL-120-002
DESBASTE	Desbaste	01	120	LSL-003	NIVEL CANAL DESBASTE - C	S	LSL-120-003
DESBASTE	Desbaste	01	120	RJA-001	REJA GRUESOS CANAL DESBASTE - A	S	RJA-120-001
DESBASTE	Desbaste	01	120	RJA-002	REJA GRUESOS CANAL DESBASTE - B	S	RJA-120-002
DESBASTE	Desbaste	01	120	TMA-001	TAMIZ FILTRANTE CANAL DESBASTE - A	S	TMA-120-001
DESBASTE	Desbaste	01	120	TMA-002	TAMIZ FILTRANTE CANAL DESBASTE - B	S	TMA-120-002
DESBASTE	Desbaste	01	120	TTR-001	TORNILLO TRANSPORTADOR - A	S	TTR-120-001
DESBASTE	Desbaste	01	120	TTR-002	TORNILLO TRANSPORTADOR - B	S	TTR-120-002
DESBASTE	Desbaste	01	120	TTR-003	TORNILLO RECOGIDA	S	TTR-120-003
DESARENADO	Desarenado	02	130	ABF-001	AIREADOR SUMERGIBLE - A1	S	ABF-130-001
DESARENADO	Desarenado	02	130	ABF-002	AIREADOR SUMERGIBLE - A2	S	ABF-130-002
DESARENADO	Desarenado	02	130	ABF-003	AIREADOR SUMERGIBLE - B1	N	ABF-130-003
DESARENADO	Desarenado	02	130	ABF-004	AIREADOR SUMERGIBLE - B2	S	ABF-130-004
DESARENADO	Desarenado	02	130	ABF-005	AIREADOR SUMERGIBLE - C1	S	ABF-130-005
DESARENADO	Desarenado	02	130	ABF-006	AIREADOR SUMERGIBLE - C2	N	ABF-130-006
DESARENADO	Desarenado	02	130	CLA-001	CLASIFICADOR DE ARENAS	S	CLA-130-001
DESARENADO	Desarenado	02	130	CLG-001	CLASIFICADOR DE GRASAS	S	CLG-130-001
DESARENADO	Desarenado	02	130	COC-004	COMPUERTA ENTRADA DESARENADOR - A	S	COC-130-004
DESARENADO	Desarenado	02	130	COC-005	COMPUERTA ENTRADA DESARENADOR - B	S	COC-130-005
DESARENADO	Desarenado	02	130	COC-006	COMPUERTA ENTRADA DESARENADOR - C	S	COC-130-006

Figura 23. Documento Excel: Levantamiento de equipos activos, PTAR Los Tajos.

(Fuente: Elaboración propia, Excel 2019)

Adicionalmente al nombre del equipo y sus datos básicos, en el formato se incorporó información levantada que facilita en la ejecución del modelo de gestión y la planeación de las labores de mantenimiento:

- Fabricante: permite buscar información sobre el equipo a través de Internet y contactarlo para solicitud de repuestos y sugerencias de políticas de mantenimiento.
- Manual: saber si se cuenta con los datos del manual del equipo y su ubicación es fundamental para el desarrollo de los planes de mantenimiento.
- Estructura propuesta: especifica si el dispositivo debe ser creado como equipo o como parte de un equipo.
- Activo: indica si el equipo necesita ser incluido en el sistema o si por el contrario debe ser excluido por encontrarse activo o inactivo en la planta.
- Repuesto: indica si el equipo o instrumento cuenta con repuestos en la bodega.
- Otros: información extra que ayuda a aclarar cualquier detalle del equipo (potencia, tensión, amperaje, etc.)

## 4.2 Resultado de la Auditoría Norma MES

A partir de la evaluación realizada a diferentes operarios y técnicos de la PTAR (Apéndice 1), se obtienen los siguientes resultados:

**Tabla 5.** Resultados auditoría norma MES en el departamento de Mantenimiento de la PTAR Los Tajos

<b>CUADRO RESUMEN DE LAS ÁREAS DE EVALUACIÓN</b>		
<b>ÁREA</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>DESVIACIÓN ESTÁNDAR</b>
I RECURSOS GERENCIALES	40.6	7.3
II GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN	37.3	5.9
III MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y EQUIPOS TECNOLÓGICOS	43.9	5.6
IV PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN	51.1	4.4
V SOPORTE, CALIDAD Y MOTIVACIÓN	40.5	5.9
<b>TOTAL</b>	<b>213.4</b>	

Fuente: (Propia, Word 2019)

La puntuación final promediada de todos los participantes suma una puntuación de 213 puntos como se observa en la tabla anterior. Esto posiciona la gestión actual del departamento en “Muy buena” / Nivel de buenas prácticas de mantenimiento según la Tabla 3, el cual es un nivel muy aceptable, pero se observa

claramente que se encuentra en el rango inferior de esta clasificación, por lo que se puede decir que existen muchos puntos en los cuales se pueden mejorar para una adecuada gestión del mantenimiento en la PTAR.

Un aspecto importante por resaltar es que se encuentra que las desviaciones estándares son un poco elevadas, por lo cual se presenta un desalineamiento entre los criterios de los participantes, lo cual no es bueno para la Organización, debido a que no hay claridad sobre cuáles son las debilidades que representa el Departamento de Mantenimiento como equipo.

Se debe analizar que, debido a la desviación estándar ya mencionada, la puntuación puede representar una posible condición del Departamento de Mantenimiento de “Por arriba del nivel promedio” / Nivel aceptable de mantenimiento, con oportunidades de mejora, lo cual aplica de modo parcial a la condición del Departamento debido a la consideración de que existen oportunidades de mejora en todas las cinco áreas evaluadas por la norma MES.

En la Figura 23, se presentan los resultados de la auditoría de manera gráfica radar para su respectivo análisis. Se observa que las menores calificaciones se encuentran en tres de las cinco áreas; Gestión de la Información, Soporte, Calidad y Motivación, y Recursos Gerenciales. Esta situación lleva a analizar un poco más estas áreas con sus respectivas debilidades.

Con relación a la Gestión de Información, como se mencionó en la sección anterior, no se cuenta con un sistema de manejo de la información, en el cual se pueda basar para la toma de decisiones o mediciones de desempeño del mantenimiento. A la hora de realizar una actividad preventiva o correctiva no se lleva un conteo exacto del tiempo que el equipo estuvo fuera de servicio, creando deficiencias de información relacionada con el activo físico. Debido a la evidente falta de un sistema de información no es posible que se maneje amplios indicadores de efectividad del mantenimiento.

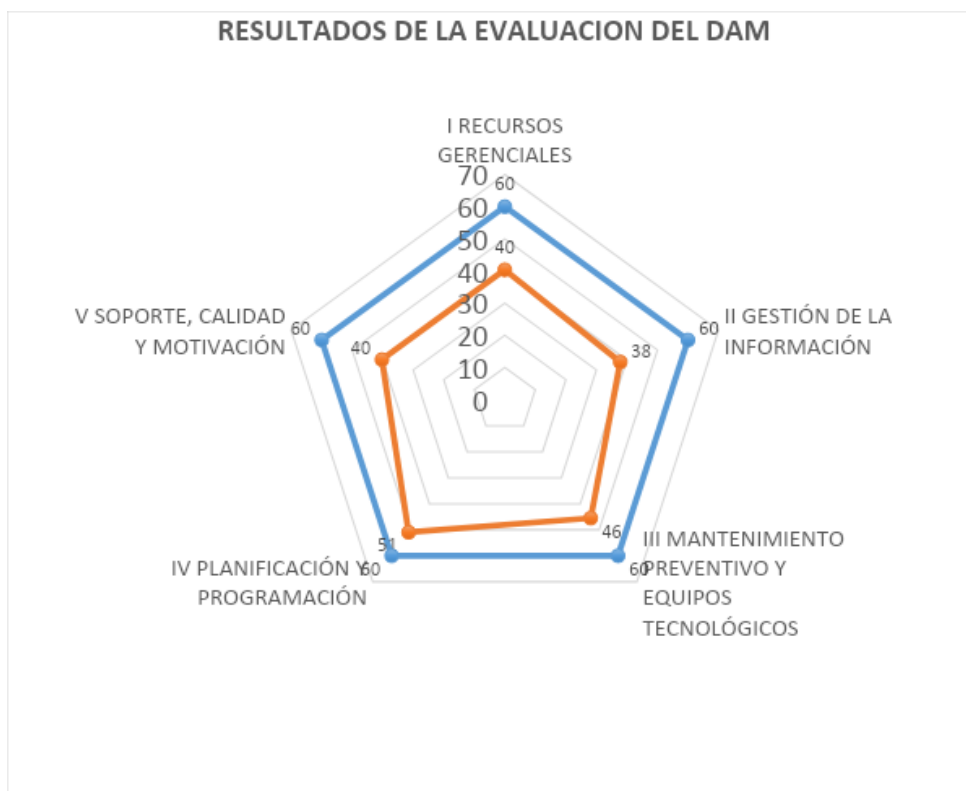


Figura 24. Resultados auditoría norma MES en el departamento de Mantenimiento de la PTAR Los Tajos.

(Fuente: Elaboración propia, Word 2019)

Con respecto al Soporte y Calidad, se cuenta con una deficiente bodega de repuestos, donde no se controla de forma correcta la salida y entrada de ellos, afectando de forma directa la ejecución de las actividades de mantenimiento y extendiendo los tiempos de respuesta. Se debe mejorar en los procesos de verificación de las actividades de mantenimiento e identificar los tiempos de reposición y los costos de los repuestos, así como llevar un mayor control de inventario y repuestos con su respectiva codificación. La Motivación es clave, se mantiene el personal de mantenimiento motivado para realizar su trabajo con las herramientas y equipos de seguridad adecuados y de buena calidad.

Según los resultados de Recursos Gerenciales, se debe mejorar mucho la relación y comunicación por parte de la Gerencia y el Departamento de Mantenimiento, pues no existe una coordinación junto con los operadores que ayude a resolver problemas que afectan el correcto funcionamiento del proceso de

la planta, por ello se debe involucrar a los distintos departamentos de La PTAR en el uso del software TRICOM, esto se realiza por medio de capacitaciones y mostrando casos de éxito con el uso del programa, para motivar la utilización.

Además, se debe mejorar la alineación de los objetivos de mantenimiento con la visión y misión de la institución. Por ello, es necesario la implementación de técnicas que permitan manejar de manera integral y automatizada las intervenciones de los equipos, cómo un software de mantenimiento que sea capaz de manejar herramientas estadísticas para el cálculo de la confiabilidad a partir de los costos de mantenimiento, inventario de repuestos y consumibles, pizarras informativas donde se puedan observar medidas de comparación y otros indicadores de clase mundial.

Comentando un poco el área de Mantenimiento Preventivo y Equipos Tecnológicos, el punto más importante por destacar es la falta de soporte por parte del personal de operación al personal de mantenimiento, no existe una correcta coordinación entre ellos, además, cabe mencionar que algunos de los mantenimientos preventivos que existen no son los más eficientes o no se conocen sus beneficios, se realizan en muchas ocasiones nada más como un cumplimiento de procedimientos, y en algunos de estos mantenimientos no se coordina con las demás áreas como parte integral de la Organización, existiendo un problema en los medios de comunicación entre ellos.

## CAPÍTULO 5

### MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

#### 5.1 Modelo de Gestión en Mantenimiento Propuesto

A partir de la auditoría realizada y la problemática descrita anteriormente, se diseñó un modelo de gestión de mantenimiento, este se puede observar en la Figura 25 y está basado en la norma ISO 9001- 2008 y se quiere integrar el departamento de mantenimiento con los demás sectores de la empresa, convirtiéndola en una estrategia de mejora continua en todas las etapas que fue realizado.

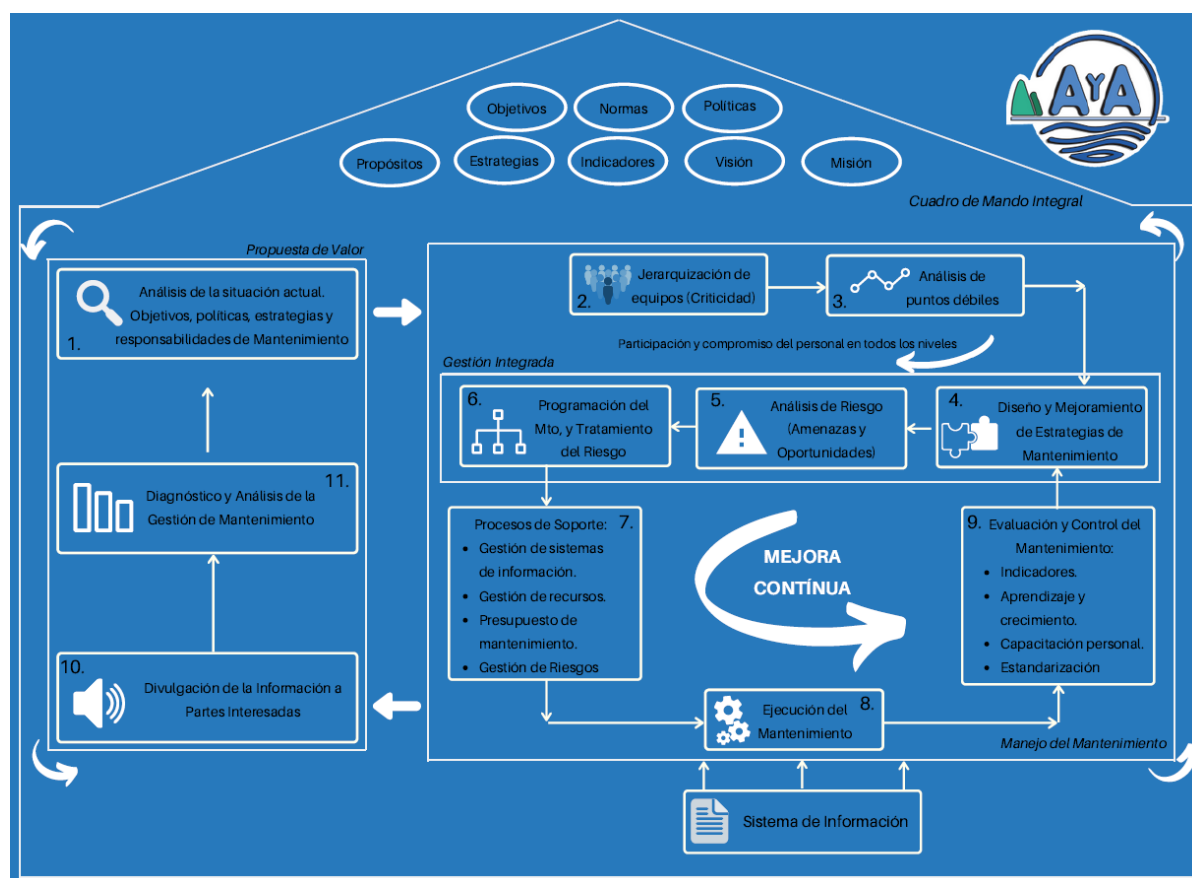


Figura 25. Estructura del Modelo de Gestión Propuesto.

Fuente: (Propia, Canva Online 2019)

El modelo propuesto tiene como base inicial el enfoque por medio de la Misión, Visión y objetivos del departamento de mantenimiento y de acuerdo con las necesidades observadas y el resultado del análisis de la situación actual mediante la auditoría MES.

Una vez delimitados esos puntos se continua con el modelo de gestión, el cual incluye la jerarquización de equipos y análisis de criticidad para su respectivo análisis de los puntos débiles, donde participan el personal de los demás departamentos involucrados y se realiza un análisis semicuantitativo soportado por el concepto de riesgo (frecuencia de fallos por su consecuencia) para tomar medidas de solución. En este sentido, se debe llevar a cabo un análisis cada año para comparar los resultados obtenidos actualmente.

De manera que, una vez determinada la situación actual, se debe analizar los riesgos asociados al mantenimiento y así escoger cuál estrategia de mantenimiento se implementará desde cero, no como una medida de reducción de costos, sino de investigar cuál estrategia se puede aplicar para mejorar la planeación y programación de las actividades de mantenimiento y el tratamiento del riesgo.

Se debe evaluar los Procesos de Soporte antes de la ejecución del mantenimiento como el manejo de recurso humano y cómo se va a gestionar este para la intervención de los equipos, de manera que se logre cumplir con los mantenimientos planeados. Además, se contemplan otros procesos de soporte como lo son el manejo de los recursos definidos en la etapa de planificación, el manejo de la documentación que respalde y evidencie las intervenciones realizadas en los equipos, que permita recopilar datos con el fin de manejar herramientas estadísticas que contribuyan en la toma de decisiones, la revisión del presupuesto de mantenimiento, este dicta si existe el capital o los recursos económicos para realizar cualquier intervención en los equipos de producción.



Todos estos pasos deben ser de mejora continua y cada cierto tiempo se tienen que aplicar nuevamente para buscar debilidades y fortalecerlas. También, se deben coordinar reuniones con los demás departamentos para informar o escuchar debilidades o fortalezas, lo cual ayudará a tener un modelo de gestión de mantenimiento eficaz y confiable.

La etapa de Evaluación y Control consiste en el chequeo de los indicadores de rendimiento mediante la metodología del Cuadro de Mando Integral, que permiten al Departamento cuantificar el cumplimiento de los objetivos, además del aprendizaje y crecimiento que conlleva, todo esto mediante un sistema de información y control de Mantenimiento.

Por último, se debe divulgar la información a partes interesadas con los demás departamentos para informar o escuchar debilidades o fortalezas, lo cual ayudará a tener un modelo de gestión de mantenimiento eficaz y confiable.

## **5.2 Cuadro de Mando Integral (CMI)**

### **5.2.1 Análisis FODA**

A partir de lo observado y el análisis de situaciones conversado con los supervisores del Departamento de Mantenimiento, se realiza una matriz para el análisis FODA (Figura 26) aplicado al mismo departamento; la matriz fue elaborada con ayuda del resultado de la evaluación del departamento y una lluvia de ideas.

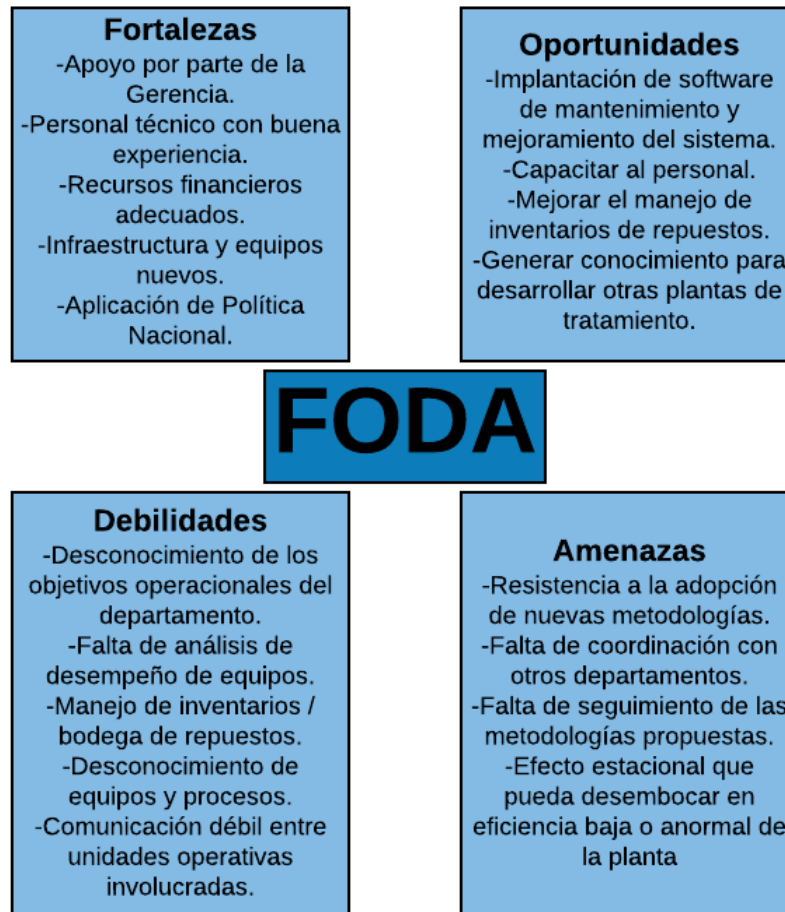


Figura 26. Análisis FODA del Departamento de Mantenimiento de la PTAR Los Tajos.

Fuente: Elaboración propia (Microsoft Word)

Como dice la teoría: las fortalezas y debilidades son fenómenos internos, mientras que las oportunidades y amenazas son fenómenos externos, pero que afectan directamente las acciones.

Se debe recordar que en esta primera etapa se va a enfocar en los aspectos primordiales detectados en conjunto del Análisis FODA y la evaluación para el Departamento, sin olvidar que es un trabajo progresivo, y se deben ir abarcando todas las secciones hasta obtener una integración total.

Una vez implementado el plan de gestión inicial, es recomendable que de manera anual se realice un análisis FODA, que sirva de retroalimentación, para verificar los avances, nuevas fortalezas, debilidades, oportunidades o amenazas.

### 5.2.2 Definición de objetivos

Para la definición de los objetivos estratégicos se utilizó como base la misión, visión y estrategia ya establecidos en el Departamento de Mantenimiento (como se mencionó anteriormente) y junto con el Coordinador de Mantenimiento se evaluaron y se observaron las fortalezas del Departamento en conjunto con el resultado de la evaluación, con el fin de encontrar objetivos y metas que se convirtieran en una adecuada herramienta para mejorar esas debilidades encontradas. Según las perspectivas se tienen:

#### 5.2.2.1 Perspectiva Financiera

**Tabla 7.** Objetivos de la perspectiva Financiera.

Perspectiva	Objetivo 1	Objetivo 2
Financiera	Cumplir con el presupuesto asignado para el departamento de mantenimiento en un 100% $\pm$ 5%	Reducir en un 5% anual los gastos generados por la tercerización del mantenimiento del Departamento de Facilidades, mejorando la planificación de los trabajos internos, para disminuir los gastos dentro del Departamento

Fuente: Elaboración propia (Microsoft Word)

**Objetivo 1:** El no cumplimiento del presupuesto asignado se debe a varios factores, como lo son: la falta de análisis de desempeño de equipos y el deficiente manejo de inventarios y repuestos. El control de entrada y salida es muy débil, se registra

en forma incompleta la información en las órdenes de trabajo, y no se toma ninguna decisión.

**Objetivo 2:** Si se toma de referencia que la búsqueda final es maximizar el valor de la institución para el gasto público, es necesario reducir en un 5% los gastos anuales generados por la tercerización del mantenimiento y mejorando la planificación de los trabajos internos. Es importante que el Departamento lleve un control de la cantidad de dinero y tiempo que se invierte en la tercerización del mantenimiento, tratando de reducir todo aquel mantenimiento contratado que no sea totalmente necesario

### 5.2.2.2 Perspectiva Cliente

**Tabla 8.** Objetivos de la perspectiva Cliente.

Perspectiva	Objetivo 1	Objetivo 2
Cliente	Garantizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos de la PTAR Los Tajos, controlando las fallas y los tiempos de reparación.	Establecer un estándar de información y comunicación para la gestión integral de riesgo con la consigna de mejorar las actividades coordinadas, para dirigir y controlar la organización con respecto al riesgo.

Fuente: Elaboración propia (Microsoft Word)

**Objetivo 1:** Garantizar el correcto funcionamiento de los equipos necesarios para el tratamiento de agua residuales, de forma segura y eficiente para facilitar la producción continua de agua tratada.

**Objetivo 2:** Los clientes de la dirección no solo son el cliente final, sino también son parte del proceso para asegurar el saneamiento de forma comprometida con la salud y el ambiente, el contar con la información y comunicación necesaria permite la gestión de riesgo, mediante la coordinación de actividades para dirigir y controlar la organización con relación al riesgo.

### 5.2.2.3 Perspectiva Procesos Internos

**Tabla 9.** Objetivos de la perspectiva Procesos Internos.

Perspectiva	Objetivo 1	Objetivo 2
Procesos Internos	Asegurar el cumplimiento de las labores de mantenimiento preventivo en un 100%	Aumentar la disponibilidad del servicio de saneamiento y asegurar la disponibilidad de los repuestos de los equipos para el tratamiento de aguas residuales en un 90%

Fuente: Elaboración propia (Microsoft Word)

**Objetivo 1:** Se propone un cumplimiento del 100% de las labores de Mantenimiento planificadas debido a requerimientos de la Gerencia, el no cumplimiento de estos mantenimientos planificados involucra un estudio de riesgo por cada intervención no realizada y posibles fallos en los equipos.

**Objetivo 2:** Por medio de un mejor manejo de datos e información recolectada se debe asegurar la disponibilidad de los repuestos necesarios para asegurar el saneamiento de adecuado y agilizar el proceso del mantenimiento preventivo y correctivo.

### 5.2.2.4 Perspectiva de Aprendizaje y Crecimiento

**Tabla 10.** Objetivos de la perspectiva Aprendizaje y Crecimiento.

Perspectiva	Objetivo 1	Objetivo 2
Aprendizaje y Crecimiento	Aumentar la motivación del personal del Departamento de Mantenimiento mediante el uso de capacitaciones y herramientas de aprendizaje para mejorar el trabajo realizado.	Lograr que no haya daños o accidentes laborales en el ambiente y personal del Departamento de Mantenimiento, para garantizar la seguridad del personal.

Fuente: Elaboración propia (Microsoft Word)

**Objetivo 1:** Garantizar el correcto funcionamiento de los equipos necesarios para el tratamiento de agua residuales, de forma segura y eficiente para facilitar la producción continua de agua tratada.

**Objetivo 2:** Lograr que no haya daños ambientales o accidentes laborales por parte del personal del Departamento de Mantenimiento. La seguridad del personal es lo más importante en las empresas, garantizar protección a los empleados para que realicen sus labores es capital y repercute en la motivación de los empleados para realizar las tareas correspondientes

### 5.2.3 Selección de indicadores del CMI

Luego de determinar cuáles son los objetivos como se explicó brevemente se procede a encontrar los indicadores para cada objetivo de las perspectivas. Para determinar el número de indicadores es necesario establecer el responsable del manejo de dicha herramienta.

Para la determinación de estos indicadores se debieron analizar cada uno de los objetivos para asegurar que su funcionamiento sería el adecuado, definir muy bien la viabilidad del indicador, buscar las rutas de toma de datos o información requerida y definir un responsable adecuado para cada indicador.

#### 5.2.3.1 Perspectiva Financiera

**Tabla 11.** Objetivos Financieros del CMI.

Objetivo	Indicador
1. Cumplir con el presupuesto asignado para el departamento de mantenimiento en un 90% $\pm$ 5%	Cumplimiento de presupuesto

2. Reducir en un 10% anual los gastos generados por la tercerización del mantenimiento del Departamento de Facilidades, mejorando la planificación de los trabajos internos, para disminuir los gastos dentro del Departamento	Tercerización del Mantenimiento
--	---------------------------------

Fuente: Elaboración propia (Microsoft Word, 2019)

**Cumplimiento de presupuesto:** Este indicador consiste en cumplir con el gasto del presupuesto anual de mantenimiento, desde el punto de vista de la ejecución financiera versus el programa del mantenimiento.

$$CP = \frac{\text{Gasto de mantenimiento}}{\text{Presupuesto de mantnimiento}} \times 100$$

**Tercerización del Mantenimiento:** Este indicador mide la relación entre los gastos totales de mano de obra externa (contratación eventual y/o gastos de mano de obra proporcional a los servicios de contratos permanentes) y la mano de obra total empleada en los servicios (propia y contratada), durante el período considerado.

$$CRPP = \frac{\text{Servicio de terceros}}{\text{Costos de Mantenimiento (total)}} \times 100$$

### 5.2.3.1 Perspectiva Cliente

**Tabla 12.** Objetivos para Clientes del CMI

Objetivo	Indicador
1. Garantizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos de la PTAR Los Tajos, controlando las fallas y los tiempos de reparación.	Confiabilidad
	Tiempo medio de reparación
	Tiempo medio entre fallas
	Disponibilidad

Fuente: Elaboración propia (Microsoft Word, 2019)

**Confiabilidad:** Probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica bajo condiciones de uso determinadas en un periodo establecido. Estudio de fallos de un equipo.

$$C = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas paradas por Mto}}{\text{Horas totales}} \times 100$$

**Tiempo medio entre fallas:** Relación entre el producto del número de ítems por sus tiempos de operación y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el periodo.

$$TMEF = \frac{\% \text{ ítems o equipos} \times \text{Horas de oper. de los equipos}}{\% \text{ Total de Fallas}}$$

**Tiempo medio de reparación:** Relación entre el tiempo total de inversión correctiva en un conjunto de ítem con falla y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el tiempo/periodo observado.

$$TMPR = \frac{\text{Horas totales mantenimiento correctivo}}{\# \text{ total de fallas del equipo}}$$

**Disponibilidad:** La disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado.

$$D = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} \times 100\%$$

### 5.2.3.1 Perspectiva Procesos Internos

**Tabla 13.** Objetivos de Procesos Internos del CMI

Objetivo	Indicador
1. Asegurar el cumplimiento de las labores de mantenimiento preventivo en un 100% y reducir el mantenimiento correctivo	Cumplimiento de mantenimiento preventivo
	Índice de mantenimiento correctivo



2. Asegurar la disponibilidad de los repuestos de los equipos para el tratamiento de aguas residuales en un 90%	% de Repuestos disponibles
---	----------------------------

Fuente: Elaboración propia (Microsoft Word, 2019)

**Cumplimiento de mantenimiento preventivo:** Es la proporción de órdenes planificadas que se realizaron, con respecto al total de órdenes de trabajo planificadas. Mide el grado de acierto en la planificación. La frecuencia determinada para este indicador es bisemanal. La información para este indicador se obtiene del registro de trabajo de los técnicos.

$$D = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} \times 100\%$$

**Índice de mantenimiento correctivo:** Porcentaje de horas invertidas en realización de mantenimiento correctivo, sobre horas totales de mantenimiento, la frecuencia que se determina para este indicador es de manera mensual, y la información se obtiene de las órdenes de trabajo, archivadas en el TRICOM, se realizará a los equipos de mayor importancia para el Departamento de Mantenimiento.

$$IMC = \frac{\text{Horas Mto Correctivo}}{\text{Horas Totales de Mto (prev, corr, pred)}} \times 100$$

**Porcentaje de Repuestos Disponibles:** Este indicador mide la disponibilidad de los repuestos de los equipos de producción continua de agua tratada.

$$IMC = \frac{\text{Horas Mto Correctivo}}{\text{Horas Totales de Mto (prev, corr, pred)}} \times 100$$

### 5.2.3.1 Perspectiva Aprendizaje y Crecimiento

**Tabla 14.** Objetivos de Aprendizaje y Crecimiento del CMI

Objetivo	Indicador
----------	-----------

1. Aumentar la motivación del personal del Departamento de Mantenimiento mediante el uso de capacitaciones y herramientas de aprendizaje para mejorar el trabajo realizado.	Cantidad de capacitaciones anuales al personal
2. Lograr que no haya daños o accidentes laborales en el ambiente y personal del Departamento de Mantenimiento, para garantizar la seguridad del personal.	Seguridad laboral
	Número de acciones inseguras o accidentes durante un periodo dado

Fuente: Elaboración propia (Microsoft Word, 2019)

**Capacitación al personal:** Este indicador representa las horas de capacitación profesional que reciben los empleados del Departamento de manera anual para los colaboradores. Se debe llevar un registro de las horas invertidas en capacitación.

$$Nca = \text{Número de capacitaciones} \times \text{Horas}$$

**Seguridad Laboral:** Es proporción de la cantidad de incapacidades de los empleados del departamento de Facilidades debido a accidentes laborales, con respecto a un tiempo determinado.

$$SL = \frac{\text{Incapacidades de empleados}}{\text{Tiempo}}$$

**# de Accidentes:** Este indicador representa los números de accidentes o acciones inseguras en el periodo de un mes. Se determina contabilizando la cantidad de veces ocurre un accidente mensualmente.

#### 5.2.4 Codificación y rangos de indicadores del CMI

La codificación de los indicadores propuestos son los siguientes:

**Tabla 14.** Codificación y Rangos de Indicadores del CMI.

CÓDIGO DE INDICADOR	SIGNIFICADO
IR	Indicador de Rendimiento
CÓDIGO DE PERSPECTIVA	
F	Financiera

C	Clientes
P	Procesos Internos
A	Aprendizaje y Crecimiento
<b>CÓDIGO DE RANGOS</b>	
	Bueno
	Medio
	Malo

Fuente: Elaboración propia (Microsoft Word, 2019)

Los valores asociados a los rangos se obtienen a partir de las necesidades del Departamento de Mantenimiento y requerimientos de la Gerencia, de modo en el Cuadro de Mando Integral permita una cambio cultural en el control de mantenimiento y la recolección de información de medición que permita implantar herramientas estadísticas como confiabilidad para la toma de decisiones relacionadas con los equipos, permita gestionar el recurso humano y aumentar el sentimiento de pertenencia hacia el Departamento de Mantenimiento.

### **5.2.5 Cuadro de Mando Integral propuesto para PTAR Los Tajos, AyA Dirección RyT.**

Ver Anexo C.

### **5.3 Clasificación de Equipos y Análisis de Criticidad por metodología CTR (Criticidad Total por Riesgo)**

Se realiza la jerarquización de equipos y análisis de criticidad (Tabla 4.3.3) a todos los equipo activos de las líneas principales del proceso de tratamiento primario de aguas residuales mediante el método CTR se definen los equipos críticos en el proceso de tratamiento primario en la PTAR Los Tajos y que afectan la calidad del tratamiento de agua, se contabilizan un total de 14 equipos con esta categoría, la mitad de ellos pertenecen a la sección de Desbaste (tratamiento preliminar), proceso de suma importancia para la remoción de sólidos gruesos y finos. Los resultados obtenidos se resumen a continuación:

**Tabla 15.** Resultados del análisis de criticidad CTR en el departamento de Mantenimiento de la PTAR Los Tajos.

ID	Área de interés	Sección	Tipo	TAG	Equipo	CTR	Estado
A	ESTRUCTURAS DE ENTRADA Y TRATAMIENTO PRELIMINAR	Desbaste	EQUIPO	GRV-110-001	GRÚA DESARENADO MOTOR PRINCIPAL 5T	96	C
B	ESTRUCTURAS DE ENTRADA Y TRATAMIENTO PRELIMINAR	Desbaste	EQUIPO	CBV-110-001	CUCHARA BIVALVA POZO DE GRUESOS	88	C
C	ESTRUCTURAS DE ENTRADA Y TRATAMIENTO PRELIMINAR	Obra de llegada / Pozo de Gruesos	INSTRUMENTO	FT-110-001	MEDIDOR CAUDAL ENTRADA AGUA BRUTA	104	C
D	ESTRUCTURAS DE ENTRADA Y TRATAMIENTO PRELIMINAR	Desbaste	EQUIPO	RJA-120-001/002	REJA GRUESOS CANAL DESBASTE - A y B	92	C
E	ESTRUCTURAS DE ENTRADA Y TRATAMIENTO PRELIMINAR	Desbaste	EQUIPO	TMA-120-001/002	TAMIZ FILTRANTE CANAL DESBASTE - A y B	92	C
F	ESTRUCTURAS DE ENTRADA Y TRATAMIENTO PRELIMINAR	Desbaste	EQUIPO	TTR-120-003	TORNILLO RECOGIDA	88	C
G	ESTRUCTURAS DE ENTRADA Y TRATAMIENTO PRELIMINAR	Desbaste	INSTRUMENTO	EMG-120-001	ESTACIÓN DE MEDICIÓN DE GASES DESBASTE	64	C
H	EVACUACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE LODOS	Centrífugas	EQUIPO	AFE-910-001/002/003	AGITADOR DEPÓSITO TAMPÓN - 1, 2 y 3	76	C
I	ESTRUCTURAS DE ENTRADA Y TRATAMIENTO	Desbaste	EQUIPO	TTR-950-002/003	TORNILLO ELEVADOR A SILO Y	88	C

	PRELIMINAR				RECOGEDOR CENTRÍFUGAS		
J	EVACUACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE LODOS	Silos de Almacenamiento	EQUIPO	VCM-960-001/002/003/004	COMPUERTA SILO - A1, A2, B1 y B2	68	C
K	SERVICIOS AUXILIARES	SERVICIOS AUXILIARES	EQUIPO	FMA-510-001	FILTRO MALLA DE AGUA AUTOLIMPIANTE	64	C
L	TRATAMIENTO PRIMARIO	Depósito de Vaciados	EQUIPO	BCS-530-001/002/003/004	BOMBA VACIADOS - 1	96	C
M	TRATAMIENTO PRIMARIO	Depósito de Vaciados	INSTRUMENTO	LSH-530-001/002/003	INTERRUPTOR DE ALTO NIVEL DEPÓSITO INTERMEDIO DE VACIADOS	108	C
N	DESODORIZACIÓN	Desodorización Química	EQUIPO	VET-610-001	VENTILADOR DESODORIZACIÓN	148	C

Fuente: Elaboración propia (Microsoft Word, 2019)

Con las puntuaciones anteriormente tabuladas se posiciona cada una de las puntuaciones de Frecuencia de Fallos (FF) versus Consecuencias (C) en la matriz de criticidad descrita en el Capítulo 3.4. y se determina su estado de criticidad (Figura 2).

**Tabla 16.** Matriz CTR de equipos críticos del proceso de tratamiento primario de aguas residuales en la PTAR Los Tajos.

FRECUENCIA	4			B,C,D,E,F,,H,L,M	N	
	3				A	
	2				G,I,J,K	
	1					
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				
Área de sistemas No Críticos						
Área de sistemas de Media Criticidad						
Área de sistemas Críticos						

Fuente: Elaboración propia (Excel, 2019)

### 5.3.1 Análisis CTR en equipos críticos de alta frecuencia

#### 5.3.1.1 Cuchara Bivalva (B)

Se obtiene que el equipo CBV-110-001 tiene el índice de fallos muy alto, su operación no ha sido la adecuado y ha fallado varias veces en muy poco tiempo, por otro lado, los costos de reparación elevan los \$20000, lo que hace costoso su adecuada operación. Sin embargo, a pesar de esto, el equipo tiene una puntuación de 88, la operación y calidad del tratamiento de agua no se ve afectado y no presenta afectación al ambiente.

#### 5.3.1.2 Medidor de Caudal entrada de agua (C)

El análisis CTR para el instrumento FT-110-001 muestra la importancia de este en las áreas de calidad y operación, es el encargado de monitorear la entrada de agua a la planta para así monitorear y operar los demás procesos. Este equipo tiene una puntuación de 104, y su frecuencia de fallo es alta pues presenta problemas cuando existen caudales de agua con mucha velocidad o turbulencia.

#### **5.3.1.3 Reja Gruesos y Finos Desbaste (D y E)**

El análisis CTR para los equipos de rejas en Desbaste muestra la importancia de estas en las áreas de calidad y operación, para las rejas de gruesos y finos su puntuación es 92 y su frecuencia de fallos es alta por los constantes atascamientos de partículas en mecanismos de las rejas. El costo de mantenimiento no representa algo significativo porque no se han incurrido a compra de repuestos, sus reparaciones han sido por limpieza de equipo y/o des atascamientos en elementos mecánicos de las rejas.

#### **5.3.1.4 Tornillo Recogida (F)**

El análisis CTR para este tornillo muestra lo importante que es para operación y calidad de la planta ya que ayuda a eliminar las partículas de tamaño significativo que puedan dañar algún equipo o sistema del tratamiento primario y lodos, encargado de llevar los residuos de las rejas al contenedor de basura. Su puntuación de 88 no es muy alta, sin embargo, es un equipo con alta frecuencia de fallos y lo mejor es monitorear su funcionamiento para evitar paros prolongados.

#### **5.3.1.5 Agitadores Depósito Tampón (H)**

El análisis CTR para los agitadores del depósito tampón muestra una puntuación de 104, presentando una alta criticidad y frecuencia de fallos. De mucha importancia en operación y calidad del proceso. El costo de reparación no asciende los \$20000, por lo que es posible contar con un back-up en bodega.

#### **5.3.1.6 Bomba Vaciados (L)**

Con una puntuación de 96 según el análisis CTR, las bombas de la red de vaciados presentan alta ocurrencia de fallos y considerando su evaluación, son de suma importancia para el ambiente y salud de las personas y el proceso de producción del tratamiento de aguas. Por ello se recomienda tener repuestos de estos equipos y back-ups en caso de fallo.

#### **5.3.1.7 Boyas de Nivel Depósito Intermedio (M)**

El análisis CTR muestra la importancia en estas boyas, con una puntuación de 108 se demuestra que estos instrumentos son fundamentales en el proceso pues se encuentran en un punto estratégico, presentan una frecuencia de fallas alta por el tipo de lodo que se forman en este depósito; además, no se cuentan con repuestos en bodega.

#### **5.3.1.8 Ventilador Desodorización (N)**

El análisis CTR muestra que el ventilador de Desodorización es el equipo que presenta la más alta criticidad con una puntuación de 148, Este equipo además de tener una alta frecuencia de fallos y ser fundamental en el proceso de la PTAR, tiene un alto costo de mantenibilidad, provocando paros en el sistema de Desodorización y altos costos de mantenimiento mayores a \$20000.

### **5.3.2 Análisis CTR en equipos críticos de media y baja frecuencia**

#### **5.3.2.1 Estación de Medición de Gases (G)**

Equipo de muy alto costo, según el análisis CTR supera los \$20000 y es vital para la producción, indica si la zona es totalmente segura a nivel de gases como metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (NO<sub>2</sub>). Tiene una puntuación de 64, considerada muy baja, sin embargo, no deja de ser crítica por su importancia en la salud de los trabajadores y su alto costo.



### **5.3.2.2 Grúa Desarenado (A)**

El análisis CTR muestra que el puente grúa en Desarenado es un equipo de alto costo y de vital importancia en el proceso de tratamiento de agua tratada. Con una puntuación de 92 y un promedio de 2 eventos al año se considera importante en el proceso; actualmente no funciona porque según el análisis de fallos, el variador de frecuencia para el motor de movimiento transversal está dañado y su funcionamiento se puede sustituir de forma manual.

### **5.3.2.3 Tornillo Recogedor a Silo (I)**

El análisis CTR muestra que su puntuación es de 88 con una frecuencia de fallas muy alta y de afectación considerable en la calidad del servicio y en el proceso de tratamiento, al no existir una adecuada salida o disposición de los lodos. Se debe pensar en tener una bodega cada una de sus partes en caso de fallo y controlar su funcionamiento de forma adecuada.

### **5.3.2.4 Compuerta Silo (J)**

El análisis CTR muestra que su puntuación es de 68 con baja frecuencia de fallas, sin embargo, su impacto operacional en el proceso de tratamiento de aguas residuales es alto, superior al 75% y no se cuenta con unidades de reserva ni repuestos en caso de fallo.

### **5.3.2.5 Filtro de Malla Auto limpiante (K)**

Con una puntuación de 64 según el análisis CTR y una frecuencia de fallas muy baja, este equipo presenta alto impacto operacional en la planta y una afectación mínima en la calidad del servicio. Además, su alto costo provoca que se realiza de forma adecuada un plan de mantenimiento preventivo y predictivo.

### 5.3.3 Jerarquía de equipos

Para finalizar el análisis se considera la puntuación obtenida a partir del método CTR y las matrices mostradas anteriormente para realizar una jerarquía de equipos, se toman las de mayor consecuencia de manera que el Departamento de Mantenimiento tenga una visión clara de cuál debe ser la prioridad y dónde se deben invertir mayores esfuerzos con el fin de contribuir al aumento de disponibilidad y confiabilidad de los equipos, como así lo indica el objetivo a largo plazo en la etapa de planificación del Modelo de Gestión de Mantenimiento diseñado para la PTAR Los Tajos, a continuación, se muestra la jerarquía basados en la puntuación por el método CTR:

**Tabla 17.** Resultados del Análisis de Criticidad por consecuencia mediante el método CTR en el departamento de Mantenimiento de la PTAR Los Tajos.

#	Área de interés	Sección	Tipo	TAG	Equipo	C	Estado
1	ESTRUCTURAS DE ENTRADA Y TRATAMIENTO PRELIMINAR	Desbaste	EQUIPO	TTR-950-002/003	TORNILLO ELEVADOR A SILO Y RECOGEDOR CENTRÍFUGAS	38	C
2	DESODORIZACIÓN	Desodorización Química	EQUIPO	VET-610-001	VENTILADOR DESODORIZACIÓN	37	C
3	ESTRUCTURAS DE ENTRADA Y TRATAMIENTO PRELIMINAR	Desbaste	EQUIPO	TTR-950-002/003	TORNILLO ELEVADOR A SILO Y RECOGEDOR CENTRÍFUGAS	37	C
4	EVACUACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE LODOS	Silos de Almacenamiento	EQUIPO	VCM-960-001/002/003/004	COMPUERTA SILO - A1, A2, B1 y B2	34	C
5	ESTRUCTURAS DE ENTRADA Y TRATAMIENTO PRELIMINAR	Desbaste	EQUIPO	GRV-110-001	GRÚA DESARENADO MOTOR PRINCIPAL 5T	32	C
6	ESTRUCTURAS DE ENTRADA Y TRATAMIENTO PRELIMINAR	Desbaste	INSTRUMENTO	EMG-120-001	ESTACIÓN DE MEDICIÓN DE GASES DESBASTE	32	C

7	SERVICIOS AUXILIARES	SERVICIOS AUXILIARES	EQUIPO	FMA-510-001	FILTRO MALLA DE AGUA AUTOLIMPIANTE	32	C
---	----------------------	----------------------	--------	-------------	------------------------------------	----	---

Fuente: Elaboración propia (Excel, 2019)

#### 5.4 Riesgos asociados al mantenimiento

A continuación, se muestra la matriz de tareas peligrosas realizado junto con la Especialista de Seguridad y Salud, así como la información de potenciales riesgos en trabajos de mantenimiento, identificadas según el área de la PTAR.

**Tabla 18.** Matriz de tareas peligrosas realizadas por sección en la PTAR Los Tajos.

Código Tarea	Sección	Descripción	Riesgos	Control	Tipo Riesgo	Medida de Control	Disminución de Riesgo
<b>MTO - 01 - 01/01- Desbaste</b>	01/01- Desbaste	Revisión de Cadenas de Tamices, sensores de nivel y conexiones eléctricas	Atmósferas peligrosas	Lectura de NH3-LEL-CH4-H2S	04 - Alto	Permiso de Espacios Confinados	01 - Muy bajo
<b>MTO - 01 - 01/01- Desbaste</b>	01/01- Desbaste	Revisión de Cadenas de Tamices, sensores de nivel y conexiones eléctricas	Inundación	Desconexión Eléctrica y Bloqueo	04 - Alto	Trancado y Etiquetado de Computas	01 - Muy bajo
<b>MTO - 01 - 01/01- Desbaste</b>	01/01- Desbaste	Revisión de Cadenas de Tamices,	Atrapamiento y Cortes	Guantes y casco	03 - Medio	Guantes y casco	01 - Muy bajo

		sensores de nivel y conexiones eléctricas					
<b>MTO - 01 - 01/01-Desbaste</b>	01/01-Desbaste	Revisión de Cadenas de Tamices, sensores de nivel y conexiones eléctricas	Caída de Alturas	Descenso con escalera	02 - Bajo	Permiso de Alturas	01 - Muy bajo
<b>MTO - 01 - 01/01-Desbaste</b>	01/01-Desbaste	Revisión de Cadenas de Tamices, sensores de nivel y conexiones eléctricas	Contaminación de Cuerpo	Ropa y EPP de protección	02 - Bajo	Traje Tyvek - Botas - Lentes	01 - Muy bajo
<b>MTO - 03 - 01/01-Desbaste</b>	01/01-Desbaste	Cambio de Luminarias	Caída de Alturas	Ascenso con escalera	04 - Alto	Permiso de Alturas	01 - Muy bajo
<b>MTO - 03 - 01/01-Desbaste</b>	01/01-Desbaste	Cambio de Luminarias	Atmósferas peligrosas	lectura de NH3-LEL-CH4-H2S	04 - Alto	Permiso de Espacios Confinados	01 - Muy bajo
<b>MTO - 03 - 01/01-Desbaste</b>	01/01-Desbaste	Cambio de Luminarias	Atrapamiento y Cortes	Guantes y casco	03 - Medio	Guantes y casco	01 - Muy bajo
<b>MTO - 02 - 01/02-Desarenado</b>	01/02-Desarenado	Revisión de Aireadores	Caída de Alturas	Descenso con escalera	04 - Alto	Permiso de Alturas	01 - Muy bajo

<b>MTO - 02 - 01/02-Desarenado</b>	01/02-Desarenado	Revisión de Aireadores	Atmósferas peligrosas	lectura de NH3-LEL-CH4-H2S	04 - Alto	Permiso de Espacios Confinados	01 - Muy bajo
<b>MTO - 02 - 01/02-Desarenado</b>	01/02-Desarenado	Revisión de Aireadores	Inundación	Desconexión Eléctrica y Bloqueo	04 - Alto	Trancado y Etiquetado de Computas y Equipo a Intervenir	01 - Muy bajo
<b>MTO - 02 - 01/02-Desarenado</b>	01/02-Desarenado	Revisión de Aireadores	Atrapamiento y Cortes	Guantes y casco	03 - Medio	Guantes y casco	01 - Muy bajo
<b>MTO - 02 - 01/02-Desarenado</b>	01/02-Desarenado	Revisión de Aireadores	Contaminación de Cuerpo	Ropa y EPP de protección	02 - Bajo	Traje Tyvek - Botas - Lentes	01 - Muy bajo
<b>MTO - 04 - 01/02-Desarenado</b>	01/02-Desarenado	Cambio de Luminarias	Caída de Alturas	Ascenso con escalera	04 - Alto	Permiso de Altura	01 - Muy bajo
<b>MTO - 04 - 01/02-Desarenado</b>	01/02-Desarenado	Cambio de Luminarias	Atmósferas peligrosas	lectura de NH3-LEL-CH4-H2S	04 - Alto	Permiso de Espacios Confinados	01 - Muy bajo
<b>MTO - 04 - 01/02-Desarenado</b>	01/02-Desarenado	Cambio de Luminarias	Atrapamiento y Cortes	Guantes y casco	03 - Medio	Guantes y casco	01 - Muy bajo

<b>MTO - 05 - 01/02-Desarenado</b>	01/02-Desarenado	Reparación de Puentes	Caída de Alturas	Ascenso con escalera	04 - Alto	Permiso de Alturas	01 - Muy bajo
<b>MTO - 05 - 01/02-Desarenado</b>	01/02-Desarenado	Reparación de Puentes	Atmósferas peligrosas	lectura de NH3-LEL-CH4-H2S	04 - Alto	Permiso de Espacios Confinados	01 - Muy bajo
<b>MTO - 05 - 01/02-Desarenado</b>	01/02-Desarenado	Reparación de Puentes	Atrapamiento y Cortes	Guantes y casco	03 - Medio	Guantes y casco	01 - Muy bajo
<b>MTO - 07 - 01/03-Decantación</b>	01/03-Decantación	Daño en Propela	Caída de Alturas	Ascenso con escalera	04 - Alto	Permiso de Alturas	01 - Muy bajo
<b>MTO - 07 - 01/03-Decantación</b>	01/03-Decantación	Daño en Propela	Atmósferas peligrosas	lectura de NH3-LEL-CH4-H2S	04 - Alto	Permiso de Espacios Confinados	01 - Muy bajo
<b>MTO - 07 - 01/03-Decantación</b>	01/03-Decantación	Daño en Propela	Atrapamiento y Cortes	Guantes y casco	03 - Medio	Guantes y casco	01 - Muy bajo
<b>MTO - 08 - 01/06-Homogenización</b>	01/06-Homogenización	Daño en agitador	Caída de Alturas	Ascenso con escalera	04 - Alto	Permiso de Alturas	01 - Muy bajo
<b>MTO - 08 - 01/06-Homogenización</b>	01/06-Homogenización	Daño en agitador	Atmósferas peligrosas	lectura de NH3-LEL-CH4-H2S	04 - Alto	Permiso de Espacios	01 - Muy bajo

						Confinados	
<b>MTO - 08 - 01/06-Homogenización</b>	01/06-Homogenización	Daño en agitador	Choque eléctrico	LOTTO	04 - Alto	Trancado y Etiquetado	01 - Muy bajo
<b>MTO - 08 - 01/06-Homogenización</b>	01/06-Homogenización	Daño en agitador	Atrapamiento y Cortes	Guantes y casco	03 - Medio	Guantes y casco	01 - Muy bajo
<b>MTO - 10 - 01/09-Línea de Gas</b>	01/09-Línea de Gas	Mantenimiento de Equipos	Atmósferas peligrosas	lectura de NH3-LEL-CH4-H2S	04 - Alto	Permiso de Espacios Confinados	01 - Muy bajo
<b>MTO - 10 - 01/09-Línea de Gas</b>	01/09-Línea de Gas	Mantenimiento de Equipos	Choque eléctrico	LOTTO	04 - Alto	Trancado y Etiquetado	01 - Muy bajo
<b>MTO - 10 - 01/09-Línea de Gas</b>	01/09-Línea de Gas	Mantenimiento de Equipos	Atrapamiento y Cortes	Guantes y casco	03 - Medio	Guantes y casco	01 - Muy bajo
<b>MTO - 14 - 01/10-Deshidratación</b>	01/10-Deshidratación	Daño en agitador o cable	Caída de Alturas	Ascenso con escalera	04 - Alto	Permiso de Alturas	01 - Muy bajo
<b>MTO - 14 - 01/10-Deshidratación</b>	01/10-Deshidratación	Daño en agitador o cable	Atmósferas peligrosas	lectura de NH3-LEL-CH4-H2S	04 - Alto	Permiso de Espacios Confinados	01 - Muy bajo

<b>MTO - 14 - 01/10-Deshidratación</b>	01/10-Deshidratación	Daño en agitador o cable	Choque eléctrico	LOTTO	04 - Alto	Trancado y Etiquetado	01 - Muy bajo
<b>MTO - 14 - 01/10-Deshidratación</b>	01/10-Deshidratación	Daño en agitador o cable	Atrapamiento y Cortes	Guantes y casco	03 - Medio	Guantes y casco	01 - Muy bajo
<b>MTO - 06 - 01/11-Servicios Auxiliares</b>	01/11-Servicios Auxiliares	Desobstrucción de Rodete de Bombas Sumergibles	Caída de Alturas	Ascenso con escalera	04 - Alto	Permiso de Alturas	01 - Muy bajo
<b>MTO - 06 - 01/11-Servicios Auxiliares</b>	01/11-Servicios Auxiliares	Desobstrucción de Rodete de Bombas Sumergibles	Atmósferas peligrosas	lectura de NH3-LEL-CH4-H2S	04 - Alto	Permiso de Espacios Confinados	01 - Muy bajo
<b>MTO - 06 - 01/11-Servicios Auxiliares</b>	01/11-Servicios Auxiliares	Desobstrucción de Rodete de Bombas Sumergibles	Choque eléctrico	LOTTO	04 - Alto	Trancado y Etiquetado	01 - Muy bajo
<b>MTO - 06 - 01/11-Servicios Auxiliares</b>	01/11-Servicios Auxiliares	Desobstrucción de Rodete de Bombas Sumergibles	Atrapamiento y Cortes	Guantes y casco	03 - Medio	Guantes y casco	01 - Muy bajo
<b>MTO - 06 - 01/11-Servicios Auxiliares</b>	01/11-Servicios Auxiliares	Desobstrucción de Rodete de Bombas Sumergibles	Golpes con Punteo Grúa	casco	02 - Bajo	capacitación de Uso	01 - Muy bajo
<b>MTO - 09 - 01/12-Desodorización</b>	01/12-Desodorización	Limpieza de Torres	Caída de Alturas	Ascenso con escalera	04 - Alto	Permiso de Alturas	01 - Muy bajo



<b>MTO - 09 - 01/12-Desodorización</b>	01/12-Desodorización	Limpieza de Torres	Atmósferas peligrosas	lectura de NH3-LEL-CH4-H2S	04 - Alto	Permiso de Espacios Confinados	01 - Muy bajo
<b>MTO - 09 - 01/12-Desodorización</b>	01/12-Desodorización	Limpieza de Torres	Choque eléctrico	LOTTO	04 - Alto	Trancado y Etiquetado	01 - Muy bajo
<b>MTO - 09 - 01/12-Desodorización</b>	01/12-Desodorización	Limpieza de Torres	Atrapamiento y Cortes	Guantes y casco	03 - Medio	Guantes y casco	01 - Muy bajo
<b>MTO - 11 - 01/14-Distribución Eléctrica</b>	01/14-Distribución Eléctrica	Mantenimiento de Equipos media tensión	Arco Eléctrico	EPP	05 - Crítico	falta de EPP	03 - Medio
<b>MTO - 11 - 01/14-Distribución Eléctrica</b>	01/14-Distribución Eléctrica	Mantenimiento de Equipos media tensión	Choque eléctrico	LOTTO	04 - Alto	Trancado y Etiquetado	01 - Muy bajo
<b>MTO - 11 - 01/14-Distribución Eléctrica</b>	01/14-Distribución Eléctrica	Mantenimiento de Equipos media tensión	Atrapamiento y Cortes	Guantes y casco	03 - Medio	Guantes y casco	01 - Muy bajo
<b>MTO - 12 - 01/14-Distribución Eléctrica</b>	01/14-Distribución Eléctrica	Medición de variables Eléctricas	Choque eléctrico	EPP	04 - Alto	zapatos dieléctricos y guantes	03 - Medio
<b>MTO - 12 - 01/14-Distribución Eléctrica</b>	01/14-Distribución Eléctrica	Medición de variables Eléctricas	Atrapamiento y Cortes	Guantes y casco	03 - Medio	Guantes y casco	01 - Muy bajo

<b>MTO - 15 - 01/14-Distribución Eléctrica</b>	01/14-Distribución Eléctrica	Maniobras de Celdas MT	ARC Flash	Equipo Clase 1	05 - Crítico	EPP Clase 1	01 - Muy bajo
<b>MTO - 15 - 01/14-Distribución Eléctrica</b>	01/14-Distribución Eléctrica	Maniobras de Celdas MT	Contacto por Herramienta	Tipo de Herramienta	04 - Alto	Trabajos en Frío o Herramienta	05 - Crítico
<b>MTO - 15 - 01/14-Distribución Eléctrica</b>	01/14-Distribución Eléctrica	Maniobras de Celdas MT	Choque eléctrico	LOTTO	04 - Alto	Trancado y Etiquetado	01 - Muy bajo
<b>MTO - 15 - 01/14-Distribución Eléctrica</b>	01/14-Distribución Eléctrica	Maniobras de Celdas MT	Atrapamiento y Cortes	Guantes y casco	03 - Medio	Guantes y casco	01 - Muy bajo
<b>MTO - 13 - 01/15-GENERAL</b>	01/15-GENERAL	Izaje de equipos	Choque eléctrico	EPP	04 - Alto	zapatos dieléctricos y guantes	03 - Medio
<b>MTO - 13 - 01/15-GENERAL</b>	01/15-GENERAL	Izaje de equipos	Aseguramiento de Carga	Plan de Aseguramiento de Carga	04 - Alto	Doble izaje	02 - Bajo
<b>MTO - 13 - 01/15-GENERAL</b>	01/15-GENERAL	Izaje de equipos	Atrapamiento y Cortes	Guantes y casco	03 - Medio	Guantes y casco	01 - Muy bajo

Fuente: Elaboración propia (Excel, 2019)

**Tabla 19.** Rango de riesgos y consecuencias en tareas peligrosas realizadas en la PTAR Los Tajos.

Riesgo	Consecuencias
01 - Muy bajo	Primeros Auxilios o Cuasi Accidente
02 - Bajo	Incapacidad o Primeros Auxilios
03 - Medio	Lesión Muy Grave o Incapacitante
04 - Alto	Posibilidad de Muerte o Lesión Grave
05 - Crítico	Alta Posibilidad de Muerte

Fuente: Elaboración propia (Excel, 2019)

### 5.5 Diseño de los planes de mantenimiento


La creación de los planes de mantenimiento de los equipos analizados fue uno de los últimos pasos del proyecto. Se basó en el diseño de hojas que contenían una descripción de las actividades a realizar en las distintas partes del equipo, y se cargó la información en el software de control de mantenimiento Tricom.

La elaboración de los planes de mantenimiento comenzó por la recolección de información de manuales y catálogos del fabricante y la empresa Acciona-Agua, complementándola con la opinión del personal técnico y profesional de la planta.

Una vez conocidas las actividades sugeridas, se procedió a efectuar pequeñas reuniones con los supervisores de mantenimiento para que validaran los planes de mantenimiento propuestos.

En la Figura 27, se puede observar un ejemplo de un plan de mantenimiento; este incluye la frecuencia de mantenimiento de cada acción a realizar junto con la duración en minutos, tipo de mantenimiento para saber a qué especialidad

pertenece la tarea y los riesgos asociados junto con su medida de control para tomar en cuenta a la hora de realizar las tareas.

	<b>PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b> <b>DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO</b> <b>REJA DE GRUESOS Y FINOS- CANAL DE DESBASTE A , B</b>	DEP-MTO-05-V02 Vigencia: 01/06/2019 Pág. 1 de 1
---	--	---

PARTE DE LA MÁQUINA	ACCIÓN A REALIZAR	FRECUENCIA	DURACIÓN (min)	TIPO DE MTO	RIESGO 1	MEDIDA DE CONTROL DE RIESGO 1	RIESGO 2	MEDIDA DE CONTROL DE RIESGO 2
Reductora	Verificar nivel de aceite	1 Mes	30	MEC	Atmosferas peligrosas	Lectura de NH3-LEL-CH4-H2S	N.A	N.A
Equipo General	Revisión general de tomillería y estado interno de piezas	1 Año	60	ELE	Caída de Alturas	Descenso con escalera	Atmosferas peligrosas	Lectura de NH3-LEL-CH4-H2S
Sensor Inductivo	Revisión y limpieza de sensor	1 Mes	30	ELN	Atmosferas peligrosas	Lectura de NH3-LEL-CH4-H2S	N.A	N.A
Tubo de Alimentación	Resoqe de conexiones eléctricas	6 Meses	30	ELE	Atmosferas peligrosas	Lectura de NH3-LEL-CH4-H2S	N.A	N.A
Botonera Manual	Botoneras se pueden hacer pruebas, inspección visual, limpieza y revisión de cableado	6 Meses	30	ELN	Atmosferas peligrosas	Lectura de NH3-LEL-CH4-H2S	N.A	N.A
Peine Limpiador	Revisar el ajuste del peine limpiador con las barras, debe tener de 2 a 3 mm de luz entre ellos.	1 Mes	120	MEC	Caída de Alturas	Descenso con escalera	Atmosferas peligrosas	Lectura de NH3-LEL-CH4-H2S
Cadena	Revisar tensión en cadenas	4 Meses	60	MEC	Caída de Alturas	Descenso con escalera	Atmosferas peligrosas	Lectura de NH3-LEL-CH4-H2S
Motor	Megueo	1 Año	360	ELE	Choque eléctrico	LOTTO	N.A	N.A
Rodamientos principales	Chequear por el juego que pueda presentar el rol de muñoneras.	3 Años	120	MEC	Atmosferas peligrosas	Lectura de NH3-LEL-CH4-H2S	N.A	N.A
Rodamientos principales	Engrasar muñoneras	6 Meses	40	MEC	Atmosferas peligrosas	Lectura de NH3-LEL-CH4-H2S	N.A	N.A
Parte Eléctrica	Termografías a los conductores, protecciones y transformadores	6 Meses	60	ELE	Choque eléctrico	LOTTO	N.A	N.A
CCM	Comprobación de mediciones eléctricas (tension, amperaje, temperatura)	1 Mes	30	ELE	Choque eléctrico	LOTTO	N.A	N.A
CCM	Probar Protecciones y Enclavamientos en SCADA	6 Meses	30	ELN	Choque eléctrico	LOTTO	N.A	N.A

Figura 27. Manual de mantenimiento preventivo de las Rejas de Gruesos y Finos-Canal de Desbaste A y B.

Fuente: Elaboración propia (Excel, 2019)

Estos datos permiten evaluar indicadores de rendimiento en cuanto a la perspectiva cliente y procesos internos.

## 5.6 Tricom: Control de Mantenimiento

En el Apéndice G, se pueden ver como se incluyeron las secciones, áreas de la PTAR Los Tajos, así como la inclusión de los equipos y sus partes. Estos equipos se codifican según el Instructivo para Codificar Instrumentos, Equipos (Anexo 2).

Además, se puede ver la inclusión de los planes de mantenimiento e inspecciones, junto con las indicaciones preventivas como frecuencia, tipo de mantenimiento etc.

## 5.7 Análisis económico

Como todo proyecto de ingeniería, una de las partes más importantes es la evaluación de los resultados obtenidos en cuanto a costos se refiere. De forma que, se analiza y evalúa la condición actual contra la propuesta de implementación del modelo de gestión y los planes de mantenimiento mediante el estudio del control y ejecución del presupuesto de gastos mantenimiento del año 2018 versus el presupuesto asignado del 2019.

Además, se analiza una propuesta de cambio de horario de personal técnico y su impacto económico que provoca el modelo de gestión mediante un mayor control de mantenimiento.

### 5.7.1 Impacto del modelo de gestión y los planes de mantenimiento.

Se realizó un estudio del control y ejecución del presupuesto de gastos de mantenimiento del año 2019 versus el presupuesto asignado del 2018, analizando costos por Mantenimiento de Equipo, Reparación de equipos de oficina, Aceites y Lubricantes, Materiales y productos eléctricos y Repuestos y Accesorios (Figura 28).



Dirección de Recolección y Tratamiento GAM - Control de Presupuesto - Gasto Operativo - Año 2019							
Centro Gestor:	0104030112					Área:	O&M Sistemas de Tratamiento
Descripción:	Partida 1: Servicios Partida 2: Materiales					Fecha de	17 de Diciembre 2018
Cuenta Mayor	PF	Descripción	Presupuesto Asignado 2018	Gasto Real 2019	Comprometido 2019	Saldo	%
50025000	1.08.04	Mant. Equipo de producción	€61,000,000.00	€847,540.00	€54,481,404.82	€5,671,055.18	91%
50030100	2.01.01	Aceites y Lubricantes	€9,750,000.00	€435,000.00	€9,310,676.20	€4,323.80	100%
50032900	2.03.04	Materiales y productos electricos, telefonicos y de computo	€24,804,503.00	€2,228,750.00	€22,034,161.91	€541,591.09	98%
50031600	2.04.02	Repuestos y accesorios	€81,677,790.00	€3,520,916.00	€73,488,077.27	€4,668,796.73	94%

Figura 28. Control de Presupuesto y Gastos Operativos año 2019.

Fuente: (PTAR Los Tajos, 2019)

Se observa que existe una reducción de un 9% en el presupuesto asignado del año 2019 por costos de Mantenimiento y Equipo respecto al ejecutado del año 2018, con una reducción de los costos de ₡ 5,671,055.18. Esto se debe a la capacitación de personal y mejor control del trabajo preventivo que se ha venido realizando y que el modelo propuesto a reforzado con planes de mantenimiento.

También podemos ver una reducción de casi ₡ 5,000,000.00 del presupuesto asignado del año presente por costos de Materiales Eléctricos y Repuestos y Accesorios; que mediante un mayor control de mantenimiento se estima una reducción de 20% para el próximo año, más el porcentaje de vida útil de los equipos que están integrados al mantenimiento preventivo.

### 5.7.2 Impacto cambio de horarios personal técnico

La PTAR requiere de la permanencia de personal técnico especializado las 24 horas del día los 365 días del año por distintas razones, y actualmente se trabaja con una jornada semanal de 6 días de 8 horas para un total de 48 horas/semana con 3 distintos horarios, rotando como se muestra en la Figura ##.

## HORARIO ACTUAL

### Rotación Mensual

- 4 turnos con 2 grupos
  - Grupo A - Lunes a Sábado
    - Turno 1 6:00 am a 2:00 pm
    - Turno 2 2:00 pm a 10:00 pm
    - Turno 3 10:00 pm a 6:00 am
    - Turno 4 6:00 am a 2:00 pm / 2:00 pm a 10:00 pm
  - Grupo B – Domingo a Viernes
    - Turno 1 6:00 am a 2:00 pm
    - Turno 2 2:00 pm a 10:00 pm
    - Turno 3 10:00 pm a 6:00 am
    - Turno 4 6:00 am a 2:00 pm / 2:00 pm a 10:00 pm

Figura 29. Horario actual.

Fuente: (PTAR Los Tajos, 2019)

El turno 2 genera 1 hora extra por día (6 horas extra por semana) y el turno 3 genera 2 horas extra por día (12 horas extra por semana), disfrutando 1 día libre por semana. Analizando el presupuesto de horas extra (Anexo 4) se propone una reducción de la jornada de 48 a 41.15 horas, como técnicos especialistas electromecánicos, obteniendo: 2 días libres por semana, reducción de presupuesto de horas por semana, horas extras y mayor rendimiento de técnicos al aumentar personal en horas claves.

Este cambio es propuesto luego de la implementación del modelo de gestión pues permite continuar con los 3 turnos y cubrir los 365 días del año con un mayor control de los trabajos de mantenimiento con el fin de aumentar el rendimiento del personal, además de la cantidad de técnicos en horarios en los que se encuentren los supervisores con la necesidad de incrementar la complejidad de las labores y alcances.

A continuación, se muestra la Tabla 20 que muestra las horas extras anuales presupuestas versus el cambio de horario y el ahorro en costos que se puede obtener.

**Tabla 20.** Horas Extras Anuales Actuales vrs propuesta cambio de horario.

	Actual	Propuesta	Crecimiento	Presupuesto
<b>Horas Anuales Generadas por Jornada Mixta</b>	29952	21420	-28%	€10,908,632.25
<b>Horas Anuales Generadas por Jornada Mixta</b>	1095	1299	19%	€606,608.28
<b>Horas Anuales Generadas por Jornada Nocturna</b>	2190	1637	-25%	€(1,919,352.99)
<b>Total de Horas Anuales</b>	3285	2936	-11%	€(1,312,744.71)
			<b>Ahorro</b>	<b>€(12,221,376.96)</b>

Fuente: (PTAR Los Tajos, Excel 2019)

Costo de la hora normal = 1,982.38 colones

Costo de la hora extra mixta = 2,973.57 colones

Costo de la hora extra nocturna = 3469.17 colones

Como se puede ver en la tabla anterior, existirá un ahorro de ₡ 1,312,744.71 al año solo en horas extras, mientras que un total de ₡ 10,908,632.25 en reducción de la jornada, más el beneficio al trabajador ya que contará con 2 días libres equiparando la jornada de trabajo como el resto de los funcionarios del Departamento de Mantenimiento y otras áreas, además de aumentar el rendimiento del personal.



## CONCLUSIONES

1. La aplicación de la auditoría de mantenimiento MES determinó que el factor más deficiente en el departamento de Mantenimiento es la falta de análisis de la información recolectada por el mismo. Con el correcto análisis de esta información se pueden tomar mejores decisiones y realizar mediciones de desempeño del mantenimiento.
2. Al realizar el proyecto se determina que la organización administrativa cuenta con un promedio de 71.6%. Según la norma MES, esto indica a un “nivel aceptable de mantenimiento”. Sin embargo, con los mismos resultados se da a conocer que existen varios factores de mejora.
3. Debido a la falta de análisis de información y, aprovechando que el AyA cuenta con el software Tricom que no había sido utilizado en la PTAR Los Tajos, se implementó el uso de este software, con el fin de lograr un control de mantenimiento y facilitar el acceso a toda la información de equipos y partes junto con sus programas de mantenimiento para un mejor análisis de la información.
4. Se logra identificar y codificar las áreas y secciones de trabajo en la planta, así como todos los equipos y sus partes. Estos se ingresan en el software y se realizan los planes de mantenimiento de cada uno de ellos. Con estos datos, se realiza una programación del mantenimiento y el software se encarga de brindar la información de las tareas que deben realizarse, así se lleva un mejor control del trabajo diario, se genera información más detallada y el Departamento de Mantenimiento puede analizar los datos con mayor exactitud.
5. Se diseña un modelo de gestión de mantenimiento de tipo cíclico y abierto a las demás funciones organizacionales. Este estandariza la evaluación, el control y la mejora de la eficacia y eficiencia del mantenimiento, propiciando la generación de documentos y registros para la toma de decisiones, orientado al cumplimiento de los objetivos y estrategias de la Organización.
6. Con los indicadores propuestos se podrá mejorar la gestión de mantenimiento, gracias a la evaluación y visualización de los resultados mediante gráficas y porcentajes trimestrales, promoviendo la mejora continua.
7. Con la implementación del modelo de gestión y los planes de mantenimiento, se propone reducir las horas de mantenimiento y las horas extras anuales con el fin de generar un ahorro anual de ¢12,221,376.96 y aumentar el rendimiento del personal técnico.

## RECOMENDACIONES

1. Revisar las diferentes bodegas de la PTAR Los Tajos con el fin de determinar la cantidad de repuestos existentes para los equipos incluidos en el software y comparar la cantidad existente con la lista de repuestos recomendados. Con esto se pueden efectuar las compras de los repuestos faltantes.
2. Realizar alianzas estratégicas (*joint venture*) con los diferentes proveedores de repuestos, materiales y consumibles, con el fin de suplir en tiempo justo la cantidad y calidad de los diferentes insumos para realizar la ejecución del presupuesto de forma programada anualmente.
3. Darles seguimiento a las labores del software Tricom y asegurar que las etapas del modelo de gestión se cumplen y están en constante actualización para mejorar el departamento de mantenimiento.
4. Delegar a una persona calificada la actualización del programa de mantenimiento preventivo en cuanto acciones a realizar, duración, repuestos y herramientas, para tener los resultados esperados.
5. Realizar capacitaciones en las diferentes áreas de mantenimiento, para mejorar y fortalecer el conocimiento del personal de mantenimiento y con esto, reducir los costos por pago de tercerización de servicios.
6. Crear un proyecto de 5S (Clasificación y Descarte, Organización, Limpieza, Higiene y Visualización y, Disciplina y Compromiso) en la bodega para mejorar el orden y la limpieza. Además, es importante promover la estandarización de la ubicación de los repuestos, utilizando los códigos de los equipos y sus respectivas rotulaciones.
7. Involucrar a los distintos departamentos de La PTAR en el uso del software TRICOM, esto se realiza por medio de capacitaciones y mostrando casos de éxito con el uso del programa, para motivar la utilización.
8. Incentivar la mayor y mejor comunicación entre las diferentes dependencias involucradas en el funcionamiento de la planta, con el fin de que el departamento de Mantenimiento cuente con toda la información necesaria para la toma de decisiones. Se puede iniciar con una reunión

con las diferentes dependencias donde se defina el tipo de información requerida y la forma en que se debe comunicar dicha información, además donde se pueden evaluar y comprender los riesgos (amenazas y oportunidades) de los otros departamentos.

## **BIBLIOGRAFÍA**

AyA. (2018). *Dirección de Recolección y Tratamiento GAM*.

AyA, M. -M. (Oct, 2016). *Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales*. Ministerio de Salud, Costa Rica: San Jose.

Parra, C & Cresp, A. (2015). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos*. Sevilla, España: grupo INGEMAN.

Viveros, P., Stegmaier, R., Kristjanpoller, F., Barbera, L., & Creso, A. (2014). Propuesta de un modelo de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. *Revista Chilena de ingeniería*, 125-138

Crespo Márquez A, 2007. *The maintenance management framework. Models and methods for complex systems maintenance*. London: Springer Verlag.

Palmer RD, 1999. *Maintenance Planning and Scheduling*. New York: McGraw-Hill.

Wireman T, 1998. *Developing performance indicators for managing maintenance*. New York: Industrial Press.

Pistarelli, A. (2010). *Manual de mantenimiento: Ingeniería, gestión y organización*. Buenos Aires, Argentina: Talleres Gráficos RyC.

Gómez Gutiérrez, L. (2016). Presentación de clase "Índices de Mantenimiento". Cartago.

Gómez Gutiérrez, L. (2017). Presentación de clase "Metodología para el desarrollo de un modelo de gestión de mantenimiento V1.0". Cartago.

Amendola L. (2015). "Balanced Score Card en la gestión de mantenimiento". Valencia

Duffuaa, S. Raouf, A. & Dixon Campbell, J. (2000). Sistemas de Mantenimiento Planeación y Control. Mexico: Limusa, S. A de C. V grupo noriega Editores.

Santos J, Gutierréz E, Strefezza M, & Miguel Agüero. (2013). Análisis de criticidad integral de activos físicos. Venezuela: UNERMB. Revista Investigaciones Científicas.

Norma QSR 820. Código de las Regulaciones Federales de EE. UU., 1 de abril de 2017.

Kaplan RS, Norton DP, 1992. The Balanced Scorecard-measures that drive performance. Harvard Business Review, 70(1): 71-9.

Woodhouse J. 1996. Managing Industrial Risk. Chapman Hill Inc, London

Jones Richard, 1995. Risk- Based Management: A Reliability- Centered Approach, Gulf Publishing Company, First Edition, Houston, Texas. 83

Moubray Jhon, 1991. RCM II: Reliability Centered Maintenance, Industrial Press Inc., New York, USA.

López, M & Crespo, A (2008). Un Modelo de Referencia para la Gestión del Mantenimiento. España: Universidad de Sevilla.



## ANEXOS

### Anexo 1. Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales, II Eje: “Gestión integrada para el saneamiento de las aguas residuales”.

#### 5.2.2. Segundo eje: Gestión integrada para el saneamiento de las aguas residuales

Como se comentó en el diagnóstico de situación, existen diferentes limitaciones para la gestión de las aguas residuales. Para alcanzar el segundo objetivo de la política - Fortalecer la gestión de saneamiento de aguas residuales a través del aprovechamiento de los instrumentos actuales y la creación de nuevos, en caso de ser requeridos, se plantea un conjunto de cambios y acciones.

Si bien muchas de las limitaciones para esta gestión obedecen al **desaprovechamiento de los**

**instrumentos actuales**, se suma a esto la **falta de recursos humanos, financieros, tecnológicos y normativos, entre otros**. La vigilancia y control de aguas residuales, por ejemplo, deben ser integrales y responder a las necesidades actuales del sector.

En este sentido, en este eje de la política se plantea el desarrollo de varios instrumentos tecnológicos: para el registro de vertidos y reúsos; y para la atención de denuncias por aguas residuales. Complementario a lo anterior, se definen una serie de acciones estratégicas para el desarrollo de un sistema de vigilancia interinstitucional de entes generadores de aguas, de modo que la vigilancia estatal sea suficiente y representativa.

**Cuadro 19.** Gestión integrada para el saneamiento de las aguas residuales. Matriz de acciones, indicadores y metas

Subtema	Acción Estratégica	Indicadores	Meta
Instrumentos tecnológicos para el manejo seguro de las aguas residuales.	Elaboración e implementación de un sistema de información nacional única y sostenible, que contenga el registro de vertidos y reúsos de aguas residuales, con información de la ubicación geográfica y la calidad de los efluentes.	Sistema de información único sectorial operando en línea con el 100% del total de la información de vertidos y reúsos de aguas residuales.	Un sistema operando en línea con el 100% del total de la información de vertidos y reúsos de aguas residuales al 2025.
	Desarrollo de un sistema informático único para la atención de denuncias por aguas residuales, a través de la integración de todas las plataformas ya existentes, de modo que se convierta en ventanilla única.	Sistema informático interinstitucional para la atención de denuncias por aguas residuales creado y operando.	Un sistema informático atiende el 100% de las denuncias por aguas residuales a través de una plataforma única al 2020.
Sistema de vigilancia interinstitucional de entes generadores de aguas residuales.	Unificación de criterios y procedimientos entre todas las instituciones con competencias en la vigilancia estatal de entes generadores de aguas residuales, de modo que se garantice el efectivo uso de recursos humanos y económicos, para evitar la duplicidad de esfuerzos.	Directriz que oficialice el Manual Nacional de Procedimientos Interinstitucionales para la vigilancia de aguas residuales.	Directriz de oficialización del Manual Nacional de Procedimientos Interinstitucionales para la vigilancia de aguas residuales emitida al 2025.
	Desarrollo de un modelo de gestión del riesgo aplicado al diseño, operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.	Oficialización de un Modelo de gestión de riesgo de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.	Modelo de gestión de riesgo para los sistemas de tratamiento de aguas residuales oficializado en el período del 2025 al 2030.

Figura 30. Componentes de la Política, II Eje: Gestión integrada para el saneamiento de aguas residuales.

Fuente: (PNSAR, pag 63-2017)

## 6.2. Segundo eje: Gestión integrada para el saneamiento de las aguas residuales.

### 6.2.1. Objetivo general

Lograr, al año 2045, el manejo seguro del total de las aguas residuales generadas en el país, manejo seguro definido como garantizar que las aguas residuales no afecten al medio ambiente, mediante sistemas de tratamiento individuales o colectivos.

**Cuadro 24.** Gestión y evaluación de la gestión integrada para el saneamiento de las aguas residuales.

Subtema	Acción Estratégica	Indicadores	Meta
Instrumentos tecnológicos para el manejo seguro de las aguas residuales.	Elaboración e implementación de un sistema de información nacional única y sostenible, que contenga el registro de vertidos y reúsos de aguas residuales, con información de la ubicación geográfica y la calidad de los efluentes.	Sistema de información único sectorial operando en línea con el 100% del total de la información de vertidos y reúsos de aguas residuales.	Un sistema operando en línea con el 100% del total de la información de vertidos y reúsos de aguas residuales al 2025.
	Desarrollo de un sistema informático único para la atención de denuncias por aguas residuales, a través de la integración de todas las plataformas ya existentes, de modo que se convierta en ventanilla única.	Sistema informático Interinstitucional para la atención de denuncias por aguas residuales creado y operando.	Un sistema informático atiende el 100% de las denuncias por aguas residuales a través de una plataforma única al 2020.
Sistema de vigilancia interinstitucional de entes generadores de aguas residuales.	Unificación de criterios y procedimientos entre todas las instituciones con competencias en la vigilancia estatal de entes generadores de aguas residuales, de modo que se garantice el efectivo uso de recursos humanos y económicos, para evitar la duplicidad de esfuerzos.	Directriz que oficialice un Manual Nacional de Procedimientos Interinstitucionales para la vigilancia de aguas residuales.	Directriz de oficialización del Manual Nacional de Procedimientos Interinstitucionales para la vigilancia de aguas residuales emitida al 2025.

Subtema	Acción Estratégica	Indicadores	Meta
Sistema de vigilancia Interinstitucional de entes generadores de aguas residuales.	Desarrollo de un modelo de gestión del riesgo aplicado al diseño, operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.	Oficialización de un Modelo de gestión de riesgo de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.	Modelo de gestión de riesgo para los sistemas de tratamiento de aguas residuales oficializado en el período del 2025 al 2030.
	Garantizar que cada Institución cuente con los recursos humanos, informáticos y técnicos requeridos para garantizar la vigilancia estatal.	% de recursos adicionales a los actuales aprobados en relación con lo solicitado.	Recursos actuales.

Figura 31. Modelo de Gestión y Evaluación, II Eje: Gestión integrada para el saneamiento de aguas residuales.

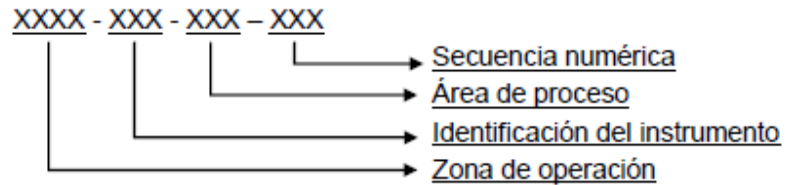
Fuente: (PNSAR, pag 77-2017)



## Anexo 2. Instructivo para Codificar Instrumentos, Equipos y Cables en la Dirección RyT GAM

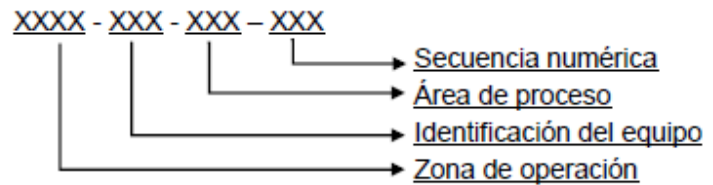
### 7.1 Codificación de instrumentos

La codificación de la Instrumentación en la Dirección RyT GAM, se define de la siguiente manera:



### 7.2 Codificación de Equipos

La codificación de los equipos en la Dirección RyT GAM, se establece de la siguiente manera:



Como se mencionó anteriormente, se puede observar que la única diferencia entre la codificación de un instrumento y un equipo es el segundo juego de caracteres.

Figura 32. Codificación de equipos e instrumentos.

Fuente: (Instructivo ELN-2018-001)

#### 7.4 Identificación del instrumento

El segundo juego de caracteres en la codificación de la instrumentación es en letras. Este es el único juego de caracteres que se diferencia para codificar un instrumento de un equipo. La codificación se indica de izquierda a derecha e indican la nomenclatura según la tabla de la Normativa ISA "Identificación y Símbolos de Instrumentación" detallada a continuación:

Tabla 2. Identificación de instrumentación según tabla nomenclatura ISA

	Primeras letras		Letras Sucesivas		
	Variable Medida	Variable Modificable	Lectura/ Función Pasiva	Salida/ Función Activa	Función modificable
A	Análisis		Alarma		
B	Quemador, Combustión		A escogencia del usuario	A escogencia del usuario	A escogencia del usuario
C	A escogencia del usuario			Control	Cerrado
D	A escogencia del usuario	Diferencia, Diferencial			Desviación
E	Tensión		Sensor, Elemento primario		
F	Flujo, Caudal	Proporción			
G	A escogencia del usuario		Vidrio, Calibre, Dispositivo de Visualización		
H	Manual				Alto
I	Corriente eléctrica		Indicación		
J	Potencia		Escaneo		
K	Tiempo, Horario	Tiempo de cambio		Estación de control	
L	Nivel		Luz		Bajo
M	A escogencia del usuario				Medio
N	A escogencia del usuario		A escogencia del usuario	A escogencia del usuario	A escogencia del usuario
O	Oxígeno		Orificio, Restricción		Abierto
P	Presión		Punto de prueba		
Q	Cantidad	Integrador, totalizador			
R	Radiación		Registro		Ejecutando
S	Velocidad, Frecuencia	Seguridad		Interruptor	Alto
T	Temperatura			Transmisor	
U	Multivariable		Multifunción	Multifunción	
V	Vibración, Análisis mecánico			Válvula, Regulador	
W	Peso, Fuerza		Pozo, Prueba		
X	Sin Clasificar	Eje X	Dispositivos accesorios	Sin clasificar	Sin clasificar
Y	Evento, Estado, Presencia	Eje Y		Dispositivo auxiliar	
Z	Posición, Dimensión	Eje Z, Sistema instrumentado de Seguridad		Variador, actuador, elemento de control final si clasificar	

Figura 33. Codificación de equipos e instrumentos.

Fuente: (Instructivo ELN-2018-001)

## 7.5 Identificación del Equipo

El segundo juego de caracteres en la codificación de equipos es en letras, de izquierda a derecha y describen el equipo:

Tabla 3. Identificación de equipos

Código	Descripción	Código	Descripción
AFE	Agitador de fondo extraíble	CLA	Caldera de agua
AVM	Agitador vertical mezcla	QEB	Quemador de biogás
ABF	Aireador burbuja fina	POA	Polipack automático
BCS	Bomba centrífuga sumergible	GAS	Gasómetro
BCH	Bomba centrífuga horizontal	SGA	Soplador gasómetro
BCV	Bomba centrífuga vertical	INP	Intercambiador de placas
BDM	Bomba dosificadora de membrana	AER	Aerogenerador refrigerado
BTH	Bomba de tornillo helicoidal	DPC	Depósito de condensado
BCR	Bomba carga de reactivos	DPA	Depósito almacenamiento
GPA	Grupo de presión de agua	VEX	Vaso de expansión
CLA	Clasificador de arenas	CLA	Calderín de agua
CLG	Clasificador de grasas	CLE	Calderín de aire
COM	Compuerta mural	FMA	Filtro malla de agua
COC	Compuerta canal	SCA	Secador de aire
CAI	Compresor de aire industrial	TTR	Tornillo transportador
CPG	Compresor paletas de gas	TTC	Tornillo transportador compactador
CCG	Compresor canales de gas	CTD	Contenedor
SEA	Soplante émbolos de aire	DBF	Difusores de burbuja fina
VET	Ventilador	VSG	Válvula de seguridad de gas
TMA	Tamiz automático	RMG	Rampa de gas
RJA	Reja automática	CBV	Cuchara bivalva
GRV	Grúa viajera	DUS	Ducha de seguridad
PLV	Polipasto vigero	EXG	Extractor de gas
PDS	Puente desarenador	VCM	Válvula compuerta motorizada

Código	Descripción	Código	Descripción
PES	Puente espesador	PNL	Panel local
INE	Intercambiador espiral	SBG	Soplantes biogás
REG	Recuperador de gases	SCB	Scrubber
ELV	Electroválvula	MQF	Máquina de frío
CTL	Centrífuga de lodos	INT	Intercambiador de calor tubular
TML	Tamiz de lodos	RCQ	Recuperador de calor
MTG	Motogenerador	FCA	Filtro de carbón activo
GEE	Grupo electrógeno de emergencia		

Figura 34. Codificación de equipos e instrumentos.

Fuente: (Instructivo ELN-2018-001)

## 7.6 Área de proceso

El tercer juego de caracteres en la codificación de la instrumentación y equipos es en números e indican el área de proceso al cual pertenece el instrumento o equipo. A continuación, se presenta una tabla con los valores asignado de proceso.

Tabla 4. Código según área de proceso

Código	Área de Proceso	Código	Área de Proceso
000	General	600	Control de olores
		610	Desodorización química
040	CCM 11&22 PTAR Los Tajos	620	Desodorización biológica
041	CCM12&21 PTAR Los Tajos		
050	CCM PTAR Lindora	700	Tamizado y espesamiento de lodos
		710	Bombeo lodos primarios a tamizado de lodos
100	Pretratamiento (TPQ + TPC)	720	Tamizado de lodos primarios
110	Obra de llegada / Pozo Gruesos	730	Espesamiento de lodos
120	Desbaste	740	Homogenización de lodos y bombeo a digestión
130	Desarenado / Desengrasador		
140	Arqueta Vacidados	800	Digestión, producción de biogás y cogeneración
150	Soplantes Aire Desarenado	810	Digestión de lodos

Código	Área de Proceso	Código	Área de Proceso
		820	Dosificación de cloruro férrico a digestor
200	Tratamiento Primario (TPC)	830	Calefacción de lodos
210	Decantación primaria	840	Gas y gasoil a calderas
220	Recirculación lodos primarios / bombeo de grasas	850	Compresores de gas a digestores
230	Arqueta de reparto	860	Sistema de gas en digestores
240	Medición caudal arqueta salida agua	870	Gasómetros y quemador de gas (antorcha)
250	Tratamiento primario (TPQ)	880	Motogenerador /Compresores de gas
		890	Tratamiento de Biogás
300	Tratamiento biológico y clarificador secundario		
310	Reactor Aeróbico	900	Desague de lodos
		910	Depósito Tampón de lodos
400	Desinfección (TPC)	920	Bombeo de lodos a centrifugas deshidratación
450	Desinfección (TPQ)	930	Bombeo dosificación polímero a deshidratación
		940	Polypack deshidratación
500	Servicios	950	Centrifugas deshidratación
510	Agua de servicios	960	Transporte y almacenamiento de lodos deshidratación
520	Aire de servicios		
530	Depósito intermedio de vaciados	1000	Monorelleno
535	Retorno de Lixiviados		
550	Sistema Contra Incendio		

Figura 35. Identificación de áreas de procesos PTAR Los Tajos.

Fuente: (Instructivo ELN-2018-001)

### Anexo 3. Matriz de Tareas Peligrosas PTAR Los Tajos

Matriz de Tareas Peligrosas PTAR Los Tajos

Código Tarea	Área	Tarea	Sección	Descripción	Frecuencia	Duración	Riesgos	Control	Riesgos	Medida de Control 1	Disminución de Riesgo	Medida de Control 2	Riesgos
MITTO - 01 - 01/01-Desbaste	MITTO 01			Revisión de Cadenas de Tániques, sensores de nivel y conexiones eléctricas	Trimestral	4-8 hrs	Caida de Alturas	Descenso con escalera	02 - Bajo	Permiso de Alturas	01 - Muy bajo		
							Atmosferas peligrosas	lectura de NH3-LEL-CH4-H2S	04 - Alto	Permiso de Espacios Confinados	01 - Muy bajo		
							Contaminación de Cuerpo	Ropa y EPP de protección	02 - Bajo	Traje Tyvek - Botas - Guantes y casco	01 - Muy bajo		
							Atrapamiento y Cortes	Guantes y casco	03 - Medio	Trancado y Etiquetado de	01 - Muy bajo		
MITTO - 02 - 01/02-Desarenado	MITTO 02			Revisión de Aireadores	Anual	4-8 hrs	Inundación	Bloqueo	04 - Alto	Compuertas	01 - Muy bajo		
							Caida de Alturas	Descenso con escalera	04 - Alto	Permiso de Alturas	01 - Muy bajo		
							Atmosferas peligrosas	lectura de NH3-LEL-CH4-H2S	04 - Alto	Permiso de Espacios Confinados	01 - Muy bajo		
							Contaminación de Cuerpo	Ropa y EPP de protección	02 - Bajo	Traje Tyvek - Botas - Lentes	01 - Muy bajo		
MITTO - 03 - 01/01-Desbaste	MITTO 03			Cambio de Luminarias	Anual	4-8 hrs	Inundación	Guantes y casco	03 - Medio	Guantes y casco	01 - Muy bajo		
							Caida de Alturas	Desconexión Eléctrica y Bloqueo	04 - Alto	Trancado y Etiquetado de Compuertas y Equipo a Intervénir	01 - Muy bajo		
							Atmosferas peligrosas	Ascenso con escalera	04 - Alto	Permiso de Alturas	01 - Muy bajo		
							Atrapamiento y Cortes	lectura de NH3-LEL-CH4-H2S	04 - Alto	Permiso de Espacios Confinados	01 - Muy bajo		
MITTO - 04 - 01/02-Desarenado	MITTO 04			Cambio de Luminarias	Anual	4-8 hrs	Caida de Alturas	Guantes y casco	03 - Medio	Guantes y casco	01 - Muy bajo		
							Atmosferas peligrosas	Ascenso con escalera	04 - Alto	Permiso de Alturas	01 - Muy bajo		
							Atrapamiento y Cortes	lectura de NH3-LEL-CH4-H2S	04 - Alto	Permiso de Espacios Confinados	01 - Muy bajo		
							Caida de Alturas	Guantes y casco	03 - Medio	Guantes y casco	01 - Muy bajo		
MITTO - 05 - 01/02-Desarenado	MITTO 05			Reparación de Puentes	Trimestral	48-96 hrs	Caida de Alturas	Ascenso con escalera	04 - Alto	Permiso de Alturas	01 - Muy bajo		
							Atmosferas peligrosas	lectura de NH3-LEL-CH4-H2S	04 - Alto	Permiso de Espacios Confinados	01 - Muy bajo		
							Atrapamiento y Cortes	Guantes y casco	03 - Medio	Guantes y casco	01 - Muy bajo		
							Caida de Alturas	Ascenso con escalera	04 - Alto	Permiso de Espacios Confinados	01 - Muy bajo		
MITTO - 06 - 01/11-Servicios Auxiliares	MITTO 06			Desobstrucción de Rodete de Bombas Sumergibles	Trimestral	24 hrs	Atmosferas peligrosas	lectura de NH3-LEL-CH4-H2S	04 - Alto	Permiso de Espacios Confinados	01 - Muy bajo		
							Golpes con Puente Grúa	casco	02 - Bajo	capacitación de Uso	01 - Muy bajo		
							Choque eléctrico	LOTTO	04 - Alto	Trancado y Etiquetado	01 - Muy bajo		
							Atrapamiento y Cortes	Guantes y casco	03 - Medio	Guantes y casco	01 - Muy bajo		
MITTO - 07 - 01/03-Decantación	MITTO 07			Daño en Propela	Por daño	100 hrs	Caida de Alturas	Ascenso con escalera	04 - Alto	Permiso de Alturas	01 - Muy bajo		
							Atmosferas peligrosas	lectura de NH3-LEL-CH4-H2S	04 - Alto	Permiso de Espacios Confinados	01 - Muy bajo		
							Atrapamiento y Cortes	Guantes y casco	03 - Medio	Guantes y casco	01 - Muy bajo		
							Caida de Alturas	Ascenso con escalera	04 - Alto	Permiso de Espacios Confinados	01 - Muy bajo		
MITTO - 08 - 01/06-Homogenización	MITTO 08			Daño en agitador	Trimestral	24 hrs	Atmosferas peligrosas	lectura de NH3-LEL-CH4-H2S	04 - Alto	Permiso de Espacios Confinados	01 - Muy bajo		
							Choque eléctrico	LOTTO	04 - Alto	Trancado y Etiquetado	01 - Muy bajo		
							Atrapamiento y Cortes	Guantes y casco	03 - Medio	Guantes y casco	01 - Muy bajo		
							Caida de Alturas	Ascenso con escalera	04 - Alto	Permiso de Espacios Confinados	01 - Muy bajo		

MITTO - 09 - 01/12-Desodorización	MITTO 09	01/12-Desodorización	Limpieza de Torres	Anual	72 hrs	Caida de Alturas Atmosferas peligrosas Choque eléctrico Atrapamiento y Cortes	Ascenso con escalera lectura de NH3-LEL-CH4-H2S LOITTO Guantes y casco	04 - Alto 04 - Alto 04 - Alto 03 - Medio	Permiso de Alturas Permiso de Espacios Confinados Trancado y Etiquetado Guantes y casco	01 - Muy bajo 01 - Muy bajo 01 - Muy bajo 01 - Muy bajo	
MITTO - 10 - 01/09-Linea de Gas	MITTO 10	01/09-Linea de Gas	Mantenimiento de Equipos	Mensual	72 hrs	Atmosferas peligrosas Choque eléctrico Atrapamiento y Cortes	lectura de NH3-LEL-CH4-H2S LOITTO Guantes y casco	04 - Alto 04 - Alto 03 - Medio	Permiso de Espacios Confinados Trancado y Etiquetado Guantes y casco	01 - Muy bajo 01 - Muy bajo 01 - Muy bajo	
MITTO - 11 - 01/14-Distribución Eléctrica	MITTO 11	01/14-Distribución Eléctrica	Mantenimiento de Equipos media tensión	Semanal	1 hr	Arco Eléctrico Choque eléctrico Atrapamiento y Cortes	EPP LOITTO Guantes y casco	05 - Crítico 04 - Alto 03 - Medio	falta de EPP Trancado y Etiquetado Guantes y casco	03 - Medio 01 - Muy bajo 01 - Muy bajo	Compra de EPP categoría 0
MITTO - 12 - 01/14-Distribución Eléctrica	MITTO 12	01/14-Distribución Eléctrica	Medición de variables Eléctricas	Diaria	6 hrs	Choque eléctrico Atrapamiento y Cortes	EPP Guantes y casco	04 - Alto 03 - Medio	zapatos dieléctricos y guantes Guantes y casco	03 - Medio 01 - Muy bajo	Alfombra dieléctrica
MITTO - 13 - 01/15-GENERAL	MITTO 13	01/15-GENERAL	traje de equipos	Semanal	6 hrs	Aseguramiento de Carga Choque eléctrico Atrapamiento y Cortes Caída de Alturas	Plan de Aseguramiento de Carga EPP Guantes y casco Ascenso con escalera	04 - Alto 04 - Alto 03 - Medio 04 - Alto	Doble izaje zapatos dieléctricos y guantes Guantes y casco	02 - Bajo 03 - Medio 01 - Muy bajo 01 - Muy bajo	Fuera de la línea de fuego Alfombra dieléctrica
MITTO - 14 - 01/10-Deshidratación	MITTO 14	01/10-Deshidratación	Daño en agtador o cable	Trimestral	24 hrs	Atmosferas peligrosas Choque eléctrico Atrapamiento y Cortes	Lectura de NH3-LEL-CH4-H2S LOITTO Guantes y casco	04 - Alto 04 - Alto 03 - Medio	Permiso de Espacios Confinados Trancado y Etiquetado Guantes y casco	01 - Muy bajo 01 - Muy bajo 01 - Muy bajo	
MITTO - 15 - 01/14-Distribución Eléctrica	MITTO 15	01/14-Distribución Eléctrica	Maniobras de Celdas MT	Semestral	1 hr	Contacto por Herramienta ARC Flash Choque eléctrico Atrapamiento y Cortes	Tipo de Herramienta Equipo Clase 1 LOITTO Guantes y casco	04 - Alto 05 - Crítico 04 - Alto 03 - Medio	Trabajos en Frio o Herramienta EPP Clase 1 Trancado y Etiquetado Guantes y casco	05 - Crítico 01 - Muy bajo 01 - Muy bajo 01 - Muy bajo	



## Anexo 4. Presupuesto de horas extras en mantenimiento

Fecha	Día	Días feriados 2019	Funcionario en Turno	Horas Extra	Total	Funcionario en Turno	Horas Extra Mixtas	Total	Funcionario en Turno	Horas ExtraNocturnas	Total
01-ene	martes	Año Nuevo	6	8	48	3	8	24	3	8	24
11-abr	jueves	Día de Juan Santamaría	6	8	48	3	8	24	3	8	24
18-abr	jueves	Jueves Santo	6	8	48	3	8	24	3	8	24
19-abr	viernes	Viernes Santo	6	8	48	3	8	24	3	8	24
01-may	miércoles	Día del Trabajo	6	8	48	3	8	24	3	8	24
25-jul	jueves	Anexión del Partido de Nicoya	6	8	48	3	8	24	3	8	24
02-ago	viernes	Día de Nuestra Señora de los Angeles	6	8	48	3	8	24	3	8	24
15-ago	jueves	Asunción de la Virgen	6	8	48	3	8	24	3	8	24
15-ago	jueves	Día de la Madre	6	8	48	3	8	24	3	8	24
15-sep	domingo	Día de la Independencia	6	8	48	3	8	24	3	8	24
14-oct	lunes	Día de las Culturas	6	8	48	3	8	24	3	8	24
25-dic	miércoles	Día de Navidad	6	8	48	3	8	24	3	8	24
<b>Total</b>					<b>576</b>			<b>288</b>			<b>288</b>
Fecha	Días	Funcionario en Turno	Horas Extra	Total	Funcionario en Turno	Horas Extra Mixtas	Total	Funcionario en Turno	Horas ExtraNocturnas	Total	
ene-19	31	6	1	63	3	31	93	3	62	186	
feb-19	28	6	0	03	3	28	84	3	56	168	
mar-19	31	6	1	63	3	31	93	3	62	186	
abr-19	30	6	0	03	3	30	90	3	60	180	
may-19	31	6	1	63	3	31	93	3	62	186	
jun-19	30	6	0	03	3	30	90	3	60	180	
jul-19	31	6	1	63	3	31	93	3	62	186	
ago-19	31	6	0	03	3	31	93	3	62	186	
sep-19	30	6	1	63	3	30	90	3	60	180	
oct-19	31	6	0	03	3	31	93	3	62	186	
nov-19	30	6	1	63	3	30	90	3	60	180	
dic-19	31	6	1	63	3	31	93	3	62	186	
<b>Total</b>				<b>42</b>			<b>1095</b>			<b>2190</b>	

Figura 36. Presupuesto Horas Extra.

Fuente: (Departamento de Mantenimiento, PTAR Los Tajos)



## APÉNDICES

### A. Levantamiento de equipos

#### LISTADO DE SECCIONES, AREAS Y EQUIPOS

<b>Sección: 01</b>		<b>DESBASTE</b>	
<b>Area: 110</b>		<b>Obra de Llegada/Pozo de Gruesos</b>	
<b>Cod.Eq.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Activo</b>	<b>Clave</b>
CBV-001	CUCHARA BIVALVA POZO DE GRUESOS	N	N
COM-002	COMPUERTA BYPASS PLANTA	S	N
COM-003	COMPUERTA ENTRADA A POZO GRUESOS	S	N
FT-001	MEDIDOR DE CAUDAL ENTRADA AGUA BRUTA	S	N
FT-004	MEDIDOR DE CAUDAL POZO DE GRUESOS	S	N
GRV-001	GRÚA DESARENADO MOTOR PRINCIPAL 5T	S	S

<b>Sección: 01</b>		<b>DESBASTE</b>	
<b>Area: 120</b>		<b>Desbaste</b>	
<b>Cod.Eq.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Activo</b>	<b>Clave</b>
COC-001	COMPUERTA ENTRADA CANAL DESBASTE - A	S	N
COC-002	COMPUERTA ENTRADA CANAL DESBASTE - B	S	N
COC-003	COMPUERTA ENTRADA CANAL DESBASTE - C	S	N
COC-004	COMPUERTA SALIDA CANAL DESBASTE - A	S	N
COC-005	COMPUERTA SALIDA CANAL DESBASTE - B	S	N
COC-006	COMPUERTA SALIDA CANAL DESBASTE - C	S	N
EMG-001	ESTACIÓN DE MEDICIÓN DE GASES DESBASTE	S	N
LSH-001	NIVEL PREVIO REJA GRUESOS CANAL - A	S	N
LSH-002	NIVEL PREVIO REJA GRUESOS CANAL - B	S	N
LSH-003	NIVEL PREVIO REJA GRUESOS CANAL - C	S	N
LSH-004	NIVEL VERTEDERO	S	N
LSH-005	NIVEL PREVIO REJA GRUESOS CANAL - A	S	N
LSH-006	NIVEL PREVIO TAMIZ FINOS CANAL - A	S	N
LSH-007	NIVEL PREVIO REJA GRUESOS CANAL - B	S	N
LSH-008	NIVEL PREVIO TAMIZ FINOS CANAL - B	S	N
LSL-001	NIVEL CANAL DESBASTE - A	S	N
LSL-002	NIVEL CANAL DESBASTE - B	S	N
LSL-003	NIVEL CANAL DESBASTE - C	S	N
RJA-001	REJA GRUESOS CANAL DESBASTE - A	S	N
RJA-002	REJA GRUESOS CANAL DESBASTE - B	S	N
TMA-001	TAMIZ FILTRANTE CANAL DESBASTE - A	S	N
TMA-002	TAMIZ FILTRANTE CANAL DESBASTE - B	S	N
TTR-001	TORNILLO TRANSPORTADOR - A	S	N
TTR-002	TORNILLO TRANSPORTADOR - B	S	N
TTR-003	TORNILLO RECOGIDA	S	N

Figura 37. Listado de Equipos: Desbaste

(Elaboración propia, Tricom 2019)

<b>Sección: 02</b>		<b>DESARENADO</b>	
<b>Area: 130</b>		<b>Desarenado</b>	
<b>Cod.Eq.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Activo</b>	<b>Clave</b>
ABF-001	AIREADOR SUMERGIBLE - A1	S	N
ABF-002	AIREADOR SUMERGIBLE - A2	S	N
ABF-003	AIREADOR SUMERGIBLE - B1	N	N
ABF-004	AIREADOR SUMERGIBLE - B2	S	N
ABF-005	AIREADOR SUMERGIBLE - C1	S	N
ABF-006	AIREADOR SUMERGIBLE - C2	N	N
CLA-001	CLASIFICADOR DE ARENAS	S	N
CLG-001	CLASIFICADOR DE GRASAS	S	N
COC-004	COMPUERTA ENTRADA DESARENADOR - A	S	N
COC-005	COMPUERTA ENTRADA DESARENADOR - B	S	N
COC-006	COMPUERTA ENTRADA DESARENADOR - C	S	N
ELV-001	ELECTROVÁLVULA ENTRADA AGUA DE SERVICIO	S	N
ELV-002	ELECTROVÁLVULA AIRE DE SERVICIO-DESATADOR	S	N
FT-001	MEDIDOR CAUDAL AGUA DESARENADOR - A	S	N
FT-002	MEDIDOR CAUDAL AGUA DESARENADOR - B	S	N
FT-003	MEDIDOR CAUDAL AGUA DESARENADOR - C	S	N
FT-004	MEDIDOR CAUDAL AGUA DESARENADOR - A	S	N
FT-005	MEDIDOR CAUDAL AGUA DESARENADOR - B	S	N
FT-006	MEDIDOR CAUDAL AGUA DESARENADOR - C	S	N
GRV-001	GRÚA DESARENADO MOTOR PRINCIPAL 3T	S	N
PDS-001	PUENTE DESARENADOR - A	S	N
PDS-002	PUENTE DESARENADOR - B	S	N
PDS-003	PUENTE DESARENADOR - C	S	N
PH-001	ANALIZADOR DE PH SALIDA DESARENADO (cambiar de lugar)	S	N
PT-001	MEDIDOR PRESION AIRE A DESARENADOR - A	S	N
PT-002	MEDIDOR PRESION AIRE A DESARENADOR - B	S	N
PT-003	MEDIDOR PRESION AIRE A DESARENADOR - C	S	N
TT-001	MEDIDOR TEMPERATURA SALIDA DESARENADOR	S	N

<b>Sección: 02</b>		<b>DESARENADO</b>	
<b>Area: 140</b>		<b>Tanque de Vaciados</b>	
<b>Cod.Eq.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Activo</b>	<b>Clave</b>
BCS-004	BOMBA VACIADOS PRETRATAMIENTO - 1	S	N
BCS-005	BOMBA VACIADOS PRETRATAMIENTO - 2	S	N
LSH-002	INTERRUPTOR DE ALTO NIVEL TANQUE DE VACIADOS	S	N
LSHH-001	INTERRUPTOR DE MUY ALTO NIVEL TANQUE DE VACIADOS	S	N
LSL-003	INTERRUPTOR DE NIVEL BAJO TANQUE DE VACIADOS	S	N

<b>Sección: 02</b>		<b>DESARENADO</b>	
<b>Area: 150</b>		<b>Soplantes Aire Desarenado</b>	
<b>Cod.Eq.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Activo</b>	<b>Clave</b>
PLV-001	POLIPASTO SALA SOPLANTES DESARENADO 1/2 T	S	N
SEA-001	SOPLANTE DESARENADOR - A	S	N
SEA-002	SOPLANTE DESARENADOR - B	S	N
SEA-003	SOPLANTE DESARENADOR - C	S	N
SEA-004	SOPLANTE DESARENADOR - R	S	N
VET-001	VENTILADOR SALA DE SOPLANTES DESARENADORES	S	N

Figura 38. Listado de Equipos: Desarenado.

(Elaboración propia, Tricom 2019)

Sección: 03		DECANTACION	
Area: 210		Decantación primaria	
Cod.Eq.	Equipo	Activo	Clave
AVM-001	AGITADOR CÁMARA DE FLOCULACIÓN - A	S	N
AVM-002	AGITADOR CÁMARA DE FLOCULACIÓN - B	S	N
AVM-003	AGITADOR CÁMARA DE FLOCULACIÓN - C	S	N
AVM-004	AGITADOR CÁMARA DE FLOCULACIÓN - D	S	N
AVM-005	AGITADOR CÁMARA DE MEZCLA - A	S	N
AVM-006	AGITADOR CÁMARA DE MEZCLA - B	S	N
AVM-007	AGITADOR CÁMARA DE MEZCLA - C	S	N
AVM-008	AGITADOR CÁMARA DE MEZCLA - D	S	N
BCV-001	DECANTADOR LAMELAR - A	S	N
BCV-002	DECANTADOR LAMELAR - B	S	N
BCV-003	DECANTADOR LAMELAR - C	S	N
BCV-004	DECANTADOR LAMELAR - D	S	N
COC-001	COMPUERTA BYPASS DECANTADOR LAMELAR - A	S	N
COC-002	COMPUERTA BYPASS DECANTADOR LAMELAR - B	S	N
COC-003	COMPUERTA BYPASS DECANTADOR LAMELAR - C	S	N
COC-004	COMPUERTA BYPASS DECANTADOR LAMELAR - D	S	S
FT-001	MEDIDOR CAUDAL DECANTADOR PRIMARIO - A	S	N
FT-002	MEDIDOR CAUDAL DECANTADOR PRIMARIO - B	S	N
FT-003	MEDIDOR CAUDAL DECANTADOR PRIMARIO - C	S	N
FT-004	MEDIDOR CAUDAL DECANTADOR PRIMARIO - D	S	N
LSH-001	INTERRUPTOR DE NIVEL ALTO DECANTACIÓN PRIMARIA 1-2	S	N
LSH-002	INTERRUPTOR DE NIVEL ALTO DECANTACIÓN PRIMARIA 3-4	S	N
LSH-003	INTERRUPTOR DE NIVEL ALTO DECANTADOR 1	S	N
LSH-004	INTERRUPTOR DE NIVEL ALTO DECANTADOR 2	S	N
LSH-005	INTERRUPTOR DE NIVEL ALTO DECANTADOR 3	S	N
LSH-006	INTERRUPTOR DE NIVEL ALTO DECANTADOR 4	S	N
LSL-001	INTERRUPTOR DE NIVEL BAJO DECANTACIÓN PRIMARIA 1-2	S	N
LSL-002	INTERRUPTOR DE NIVEL BAJO DECANTACIÓN PRIMARIA 3-4	S	N
VCM-001	COMPUERTA DECANTACIÓN PRIMARIA -A1	S	N
VCM-002	COMPUERTA DECANTACIÓN PRIMARIA -A2	S	N
VCM-003	COMPUERTA DECANTACIÓN PRIMARIA -B1	S	N
VCM-004	COMPUERTA DECANTACIÓN PRIMARIA -B2	S	N
VCM-005	COMPUERTA DECANTACIÓN PRIMARIA -C1	S	N
VCM-006	COMPUERTA DECANTACIÓN PRIMARIA -C2	S	N
VCM-007	COMPUERTA DECANTACIÓN PRIMARIA -D1	S	N
VCM-008	COMPUERTA DECANTACIÓN PRIMARIA -D2	S	N

Figura 39. Listado de Equipos: Decantación.

(Elaboración propia, Tricom 2019)

<b>Sección: 03</b>		<b>DECANTACION</b>	
<b>Area: 220</b>		<b>Recirculación Lodos Primarios/Bombeo de</b>	
<b>Cod.Eq.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Activo</b>	<b>Clave</b>
BCH-001	BOMBA RECIRCULACIÓN LODOS PRIMARIOS - A1	S	N
BCH-002	BOMBA RECIRCULACIÓN LODOS PRIMARIOS - A2	S	N
BCH-003	BOMBA RECIRCULACIÓN LODOS PRIMARIOS - B1	S	N
BCH-004	BOMBA RECIRCULACIÓN LODOS PRIMARIOS - B2	S	N
BCH-005	BOMBA RECIRCULACIÓN LODOS PRIMARIOS - ABR	S	N
BCH-006	BOMBA RECIRCULACIÓN LODOS PRIMARIOS - C1	S	N
BCH-007	BOMBA RECIRCULACIÓN LODOS PRIMARIOS - C2	S	N
BCH-008	BOMBA RECIRCULACIÓN LODOS PRIMARIOS - D1	S	N
BCH-009	BOMBA RECIRCULACIÓN LODOS PRIMARIOS - D2	S	N
BCH-010	BOMBA RECIRCULACIÓN LODOS PRIMARIOS - CDR	S	N
BTH-001	BOMBA RECIRCULACIÓN LODOS PRIMARIOS 1	S	N
BTH-002	BOMBA RECIRCULACIÓN LODOS PRIMARIOS 2	S	N
BTH-003	BOMBA RECIRCULACIÓN LODOS PRIMARIOS 3	S	N
BTH-004	BOMBA RECIRCULACIÓN LODOS PRIMARIOS 4	S	N
CLG-001	DESNATADOR DECANTACIÓN PRIMARIA	S	N
FT-001	MEDIDOR CAUDAL SALIDA BOMBA RECIRCULACIÓN - A	S	N
FT-002	MEDIDOR CAUDAL SALIDA BOMBA RECIRCULACIÓN - B	S	N
FT-003	MEDIDOR CAUDAL SALIDA BOMBA RECIRCULACIÓN - C	S	N
FT-004	MEDIDOR CAUDAL SALIDA BOMBA RECIRCULACIÓN - D	S	N
PHS-002	INTERRUPTOR DE ALTA PRESIÓN RECIRCULACIÓN DE LODOS	S	N
PT-001	MEDIDOR PRESIÓN BOMBA RECIRCULACIÓN - A	S	N
PT-002	MEDIDOR PRESIÓN BOMBA RECIRCULACIÓN - B	S	N
PT-003	MEDIDOR PRESIÓN BOMBA RECIRCULACIÓN - C	S	N
PT-004	MEDIDOR PRESIÓN BOMBA RECIRCULACIÓN - D	S	N

<b>Sección: 03</b>		<b>DECANTACION</b>	
<b>Area: 230</b>		<b>Arqueta de Reparto</b>	
<b>Cod.Eq.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Activo</b>	<b>Clave</b>
COM-001	COMPUERTA A DECANTACIÓN PRIMARIA - A	S	N
COM-002	COMPUERTA A DECANTACIÓN PRIMARIA - B	S	N
COM-003	COMPUERTA A DECANTACIÓN PRIMARIA - C	S	N
COM-004	COMPUERTA A DECANTACIÓN PRIMARIA - D	S	N

<b>Sección: 03</b>		<b>DECANTACION</b>	
<b>Area: 240</b>		<b>Arqueta Salida Agua</b>	
<b>Cod.Eq.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Activo</b>	<b>Clave</b>
FT-001	MEDIDOR CAUDAL SALIDA AGUA TRATADA	S	N

Figura 40. Listado de Equipos: Decantación.

(Elaboración propia, Tricom 2019)

<b>Sección: 04</b>		<b>TAMIZADO</b>	
<b>Area: 710</b>		<b>Bombeo Lodos Primarios a Tamizado de Lodos</b>	
<b>Cod.Eq.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Activo</b>	<b>Clave</b>
BTH-001	BOMBA DE LODOS PRIMARIOS - A	S	N
BTH-002	BOMBA DE LODOS PRIMARIOS - B	S	N
BTH-003	BOMBA DE LODOS PRIMARIOS - AB	S	N
BTH-004	BOMBA DE LODOS PRIMARIOS - C	S	N
BTH-005	BOMBA DE LODOS PRIMARIOS - D	S	N
BTH-006	BOMBA DE LODOS PRIMARIOS - CD	S	N
PLV-001	POLIPASTO SALA BOMBEO LODOS PRIMARIOS A/B	S	N
PLV-002	POLIPASTO SALA BOMBEO LODOS PRIMARIOS C/D	S	N

<b>Sección: 04</b>		<b>TAMIZADO</b>	
<b>Area: 720</b>		<b>Tamizado de Lodos Primarios</b>	
<b>Cod.Eq.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Activo</b>	<b>Clave</b>
PLV-001	POLIPASTO SALA DE TAMICES	S	N
PNL-001	PANEL LOCAL TAMIZADO DE LODOS	S	N
TML-001	TAMIZ DE LODOS - A	S	N
TML-002	TAMIZ DE LODOS - B	S	N
TML-003	TAMIZ DE LODOS - C	S	N
TTR-001	TORNILLO TRANSPORTADOR LODOS TAMIZADOS	S	N

Figura 41. Listado de Equipos: Tamizado.

(Elaboración propia, Tricom 2019)

<b>Sección: 05</b>		<b>ESPEZADO</b>	
<b>Area: 730</b>		<b>Espesamiento de Lodos</b>	
<b>Cod.Eq.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Activo</b>	<b>Clave</b>
ELV-001	VÁLVULA AIRE LAVADO - A	S	N
ELV-002	VÁLVULA AIRE LAVADO - B	S	N
FT-001	TRANSMISOR CAUDAL ENTRADA ESPESADOR - A	S	N
FT-002	TRANSMISOR CAUDAL ENTRADA ESPESADOR - B	S	N
LT-001	TRANSMISOR NIVEL ESPESADOR - A	S	N
LT-002	TRANSMISOR NIVEL ESPESADOR - B	S	N
PES-001	ESPESADOR LODOS - A	S	N
PES-002	ESPESADOR LODOS - B	S	N

Figura 42. Listado de Equipos: Espesado.

(Elaboración propia, Tricom 2019)

<b>Sección: 06</b>		<b>HOMOGENIZACION</b>	
<b>Area: 740</b>		<b>Homogenización de Lodos y Bombeo a</b>	
<b>Cod.Eq.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Activo</b>	<b>Clave</b>
AFE-001	AGITADOR CÁMARA LODOS ESPESADOS	S	N
BTH-001	BOMBA LODOS HOMOG. A DIGESTIÓ- 1	S	N
BTH-002	BOMBA LODOS HOMOG. A DIGESTIÓ- 2	S	N
BTH-003	BOMBA LODOS HOMOG. A DIGESTIÓ- R	S	N
GC-001	GABINETE DE CONTROL VÁLVULAS PIC	S	N
LSH-001	INTERRUPTOR DE ALTO NIVEL TANQUE HOMOGENIZACIÓN	S	N
LSL-001	INTERRUPTOR DE NIVEL BAJO HOMOGENIZACIÓN	S	N
LT-001	TRANSMISOR NIVEL TANQUE HOMOGENIZACIÓN	S	N

Figura 43. Listado de Equipos: Homogenización.

(Elaboración propia, Tricom 2019)

<b>Sección: 07</b>		<b>DIGESTORES</b>	
<b>Area: 810</b>		<b>Digestión de Lodos</b>	
<b>Cod.Eq.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Activo</b>	<b>Clave</b>
ELV-001	ELECTROVÁLVULA ENTRADA TANQUE DE VACIADOS - A	S	N
ELV-002	ELECTROVÁLVULA ENTRADA TANQUE DE VACIADOS - B	S	N
FT-001	MEDIDOR CAUDAL ENTRADA FANGOS DIGESTOR - A	S	N
FT-002	MEDIDOR CAUDAL ENTRADA FANGOS DIGESTOR - B	S	N
FT-003	MEDIDOR CAUDAL ENTRADA DEL INTERCAMBIADOR DIGESTOR - A	S	N
FT-004	MEDIDOR CAUDAL ENTRADA DEL INTERCAMBIADOR DIGESTOR - B	S	N
GC-001	GABINETE DE CONTROL PURGA BIOGESTORES	S	N

<b>Sección: 07</b>		<b>DIGESTORES</b>	
<b>Area: 820</b>		<b>Dosificación de Cloruro Férrico a Digestor</b>	
<b>Cod.Eq.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Activo</b>	<b>Clave</b>
BDM-001	BOMBA DOSIFICADORA DE CLORURO FÉ RRICO - A	S	N
BDM-002	BOMBA DOSIFICADORA DE CLORURO F ÉRRICO - B	S	N
BDM-003	BOMBA DOSIFICADORA DE CLORURO FÉ RRICO - R	S	N
LSH-001	INTERRUPTOR DE ALTO NIVEL DOSIFICACIÓN	S	N
LSL-001	INTERRUPTOR DE NIVEL BAJO DOSIFICACIÓN	S	N
LT-001	MEDIDOR NIVEL DEPÓSITO CLORURO F ÉRRICO	S	N

Figura 44. Listado de Equipos: Digestores.

(Elaboración propia, Tricom 2019)



**Sección: 08****CALEFACCION****Area: 830****Calefacción de Lodos**

<b>Cod.Eq.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Activo</b>	<b>Clave</b>
BCH-001	BOMBA RECIRCULACIÓN LODOS A DIGESTORES - A	S	N
BCH-002	BOMBA RECIRCULACIÓN LODOS A DIGESTORES - B	S	N
BCH-003	BOMBA RECIRCULACIÓN AGUA CALDERA - A	S	S
BCH-004	BOMBA RECIRCULACIÓN AGUA CALDERA - B	S	S
CLA-001	PANEL CALDERA Y GRUPO GASÓLEO - A	S	N
CLA-002	PANEL CALDERA Y GRUPO GASÓLEO - B	S	N
EMG-001	ESTACIÓN DE MEDICIÓN DE GASES CALEFACCIÓN LODOS	S	N
INT-001	INTERCAMBIADOR DE CALOR - A	S	N
INT-002	INTERCAMBIADOR DE CALOR - B	S	N
PLV-001	POLIPASTO EN SALA CALDERAS	S	N
QEB-001	QUEMADOR DE BIOGAS CALEFACCIÓN DE LODOS 1	N	N
QEB-002	QUEMADOR DE BIOGAS CALEFACCIÓN DE LODOS 2	S	N
TC-001	CONTROL DE TEMPERATURA CALEFACCIÓN DE LODOS	S	N
TC-003	CONTROL DE TEMPERATURA CALEFACCIÓN DE LODOS	S	N
TC-006	CONTROL DE TEMPERATURA CALEFACCIÓN DE LODOS	S	N
TC-007	CONTROL DE TEMPERATURA CALEFACCIÓN DE LODOS	S	N
TC-008	CONTROL DE TEMPERATURA CALEFACCIÓN DE LODOS	S	N
TT-001	MEDIDOR TEMPERATURA LODO ENT. INTERCAMB. - A	S	N
TT-002	MEDIDOR TEMPERATURA LODO ENT. INTERCAMB. - B	S	N
TT-003	MEDIDOR TEMPERATURA AGUA ENT. INTERCAMB. - A	S	N
TT-004	MEDIDOR TEMPERATURA LODO SAL. INTERCAMB. - B	S	N
TT-005	MEDIDOR TEMPERATURA AGUA SAL. INTERCAMB. - A	S	N
TT-006	MEDIDOR TEMPERATURA AGUA ENT. INTERCAMB. - B	S	N
TT-007	MEDIDOR TEMPERATURA LODO SAL. INTERCAMB. - A	S	N
TT-008	MEDIDOR TEMPERATURA AGUA SAL. INTERCAMB. - B	S	N
VET-001	VENTILADOR SALA CALDERAS	S	N

Figura 45. Listado de Equipos: Calefacción.

(Elaboración propia, Tricom 2019)

<b>Sección: 09</b>		<b>LINEA DE GAS</b>	
<b>Area: 840</b>		<b>Gas y Gasoil a Calderas</b>	
<b>Cod.Eq.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Activo</b>	<b>Clave</b>
BCH-001	BOMBA APORTE GASOIL - A	N	N
BCH-002	BOMBA APORTE GASOIL - B	N	N
CCG-001	SOPLANTE GAS A CALDERAS - 1	S	N
CCG-002	SOPLANTE GAS A CALDERAS - 2	S	N
CCG-003	SOPLANTE GAS A CALDERAS - 3	S	N
EXG-001	VENTILADOR SALA SOPLANTES GAS	S	N

<b>Sección: 09</b>		<b>LINEA DE GAS</b>	
<b>Area: 850</b>		<b>Compresores de Gas a Digestores</b>	
<b>Cod.Eq.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Activo</b>	<b>Clave</b>
CPG-001	SOPLANTE GAS AGITACIÓN CANAS - 1	S	N
CPG-002	SOPLANTE GAS AGITACIÓN CANAS - 2	S	N
CPG-003	SOPLANTE GAS AGITACIÓN CANAS - 3	S	N
FT-001	MEDIDOR CAUDAL GAS A DIG. DE SOPLANTE - 1	S	N
FT-002	MEDIDOR CAUDAL GAS A DIG. DE SOPLANTE - 2	S	N
FT-003	MEDIDOR CAUDAL GAS A DIG. DE SOPLANTE - 3	S	N
PLV-001	POLIPASTO EN SALA SOPLANTES DE AGITACIÓN	S	N

<b>Sección: 09</b>		<b>LINEA DE GAS</b>	
<b>Area: 860</b>		<b>Sistema de Gas en Digestores</b>	
<b>Cod.Eq.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Activo</b>	<b>Clave</b>
FT-001	MEDIDOR CAUDAL GAS DE DIGESTOR - A	S	N
FT-002	MEDIDOR CAUDAL GAS DE DIGESTOR - B	S	N

<b>Sección: 09</b>		<b>LINEA DE GAS</b>	
<b>Area: 870</b>		<b>Gasómetros y Quemador de gas (Antorcha)</b>	
<b>Cod.Eq.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Activo</b>	<b>Clave</b>
FT-001	MEDIDOR CAUDAL GAS A GASOMETRO - A	S	N
FT-002	MEDIDOR CAUDAL GAS A GASOMETRO - B	S	N
LT-001	MEDIDOR NIVEL GASÓMETRO - A	S	N
LT-002	MEDIDOR NIVEL GASÓMETRO - B	S	N
QEB-001	QUEMADOR DE BIOGAS CALEFACCIÓN DE LODOS	S	N
SGA-001	SOPLANTE GASÓMETRO - A	S	N
SGA-002	SOPLANTE GASÓMETRO - B	S	N

Figura 46. Listado de Equipos: Línea de Gas.

(Elaboración propia, Tricom 2019)



<b>Sección: 10</b>		<b>DESHIDRACION</b>	
<b>Area: 910</b>		<b>Agitación Tampon</b>	
<b>Cod.Eq.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Activo</b>	<b>Clave</b>
AFE-001	AGITADOR DEPÓSITO TAMPÓN - 1	S	N
AFE-002	AGITADOR DEPÓSITO TAMPÓN - 2	S	N
AFE-003	AGITADOR DEPÓSITO TAMPÓN - 3	S	N
LSH-001	INTERRUPTOR DE ALTO NIVEL DEPÓSITO TAMPÓN	S	N
LSL-001	INTERRUPTOR DE NIVEL BAJO AGITACIÓN TAMPÓN	S	N
LSLL-001	INTERRUPTOR DE NIVEL MUY BAJO AGITACIÓN TAMPÓN	S	N
LT-001	MEDIDOR NIVEL DEPÓSITO TAMPÓN	S	N
PH-001	ANALIZADOR DE PH AGITACIÓN TAMPÓN	S	N
TT-001	TRANSMISOR DE TEMPERATURA AGITACIÓN TAMPÓN	S	N

<b>Sección: 10</b>		<b>DESHIDRACION</b>	
<b>Area: 920</b>		<b>Bombeo Lodos a Centrifugas</b>	
<b>Cod.Eq.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Activo</b>	<b>Clave</b>
BTH-001	BOMBA LODOS A DESHIDRACIÓN - A	S	N
BTH-002	BOMBA LODOS A DESHIDRACIÓN - B	S	N
BTH-003	BOMBA LODOS A DESHIDRACIÓN - C	S	N

<b>Sección: 10</b>		<b>DESHIDRACION</b>	
<b>Area: 930</b>		<b>Bombeo de Polimero a Centrífugas</b>	
<b>Cod.Eq.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Activo</b>	<b>Clave</b>
BTH-001	BOMBA DOSIFICADORA POLY - A	S	N
BTH-002	BOMBA DOSIFICADORA POLY - B	S	N
BTH-003	BOMBA DOSIFICADORA POLY - C	S	N
ELV-001	VÁLVULA DILUCIÓN LODOS A CENTRÍFUGA - A	S	N
ELV-002	VÁLVULA DILUCIÓN LODOS A CENTRÍFUGA - B	S	N
ELV-003	VÁLVULA DILUCIÓN LODOS A CENTRÍFUGA - C	S	N

<b>Sección: 10</b>		<b>DESHIDRACION</b>	
<b>Area: 940</b>		<b>PolyPack</b>	
<b>Cod.Eq.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Activo</b>	<b>Clave</b>
POA-001	POLIPACK AUTOMÁTICO 1	S	N
POA-002	POLIPACK AUTOMÁTICO 2	S	N

Figura 47. Listado de Equipos: Deshidratación.

(Elaboración propia, Tricom 2019)

<b>Sección: 10</b>		<b>DESHIDRACION</b>	
<b>Area: 950</b>		<b>Centrífugas</b>	
<b>Cod.Eq.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Activo</b>	<b>Clave</b>
CTL-001	CENTRÍFUGADORA DE LODOS - A	S	N
CTL-002	CENTRÍFUGADORA DE LODOS - B	S	N
CTL-003	CENTRÍFUGADORA DE LODOS - C	S	N
ELV-001	ELECTROVÁLVULA AGUA DE SERVICIO 1	S	N
ELV-002	ELECTROVÁLVULA AGUA DE SERVICIO 2	S	N
ELV-003	ELECTROVÁLVULA AGUA DE SERVICIO 3	S	N
PLV-001	POLIPASTO EN SALA DESHIDRATACIÓN N1	S	N
PLV-002	POLIPASTO EN SALA DESHIDRATACIÓN N2	S	N
PNL-001	PANEL CENTRÍFUGA - A	S	N
PNL-002	PANEL CENTRÍFUGA - B	S	N
PNL-003	PANEL CENTRÍFUGA - C	S	N
TTR-001	TORNILLO RECOGEDOR CENTRÍFUGAS	S	N
TTR-002	TORNILLO ELEVADOR A SILO	S	N

<b>Sección: 10</b>		<b>DESHIDRACION</b>	
<b>Area: 960</b>		<b>Silos de Almacenamiento</b>	
<b>Cod.Eq.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Activo</b>	<b>Clave</b>
LT-001	MEDIDOR NIVEL SILO ALMACENAMIENTO - A	S	N
LT-002	MEDIDOR NIVEL SILO ALMACENAMIENTO - B	S	N
TTR-001	TORNILLO CUBIERTA	S	N
TTR-002	TORNILLO DESCARGA A SILO - A y B	S	N
TTR-003	TORNILLO EXTRACTOR SILO - A1	S	N
TTR-004	TORNILLO EXTRACTOR SILO - B1	S	N
TTR-005	TORNILLO EXTRACTOR SILO - A2	S	N
TTR-006	TORNILLO EXTRACTOR SILO - B2	S	N
VCM-001	COMPUERTA DESCARGA A SILO - A	S	N
VCM-004	COMPUERTA SILO - A1	S	N
VCM-005	COMPUERTA SILO - A2	S	N
VCM-006	COMPUERTA SILO - B1	S	N
VCM-007	COMPUERTA SILO - B2	S	N

Figura 48. Listado de Equipos: Deshidratación.

(Elaboración propia, Tricom 2019)

<b>Sección: 11</b>		<b>SERVICIOS AUXILIARES</b>	
<b>Area: 510</b>		<b>Agua de Servicios</b>	
<b>Cod.Eq.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Activo</b>	<b>Clave</b>
FMA-001	FILTRO AUTOLIMPIANTE	S	N
GPA-001	GRUPO PRESIÓN AGUA DE SERVICIOS	S	N
SAP-001	SISTEMA AGUA POZO SUMERGIBLE CASETA PRINCIPAL	S	N

<b>Sección: 11</b>		<b>SERVICIOS AUXILIARES</b>	
<b>Area: 520</b>		<b>Aire de Servicios</b>	
<b>Cod.Eq.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Activo</b>	<b>Clave</b>
CAI-001	COMPRESOR AIRE SERVICIOS AUXILIAR - 1	S	N
CAI-002	COMPRESOR AIRE SERVICIOS AUXILIAR - 2	S	N
GC-001	GABINETE DE CONTROL RED AIRE DE SERVICIO	S	N
PSL-001	INTERRUPTOR DE BAJA PRESIÓN COMPRESORES AIRE DE	S	N

<b>Sección: 11</b>		<b>SERVICIOS AUXILIARES</b>	
<b>Area: 530</b>		<b>Depósito Intermedio de Vaciados</b>	
<b>Cod.Eq.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Activo</b>	<b>Clave</b>
BCS-001	BOMBA VACIADOS - 1	S	N
BCS-002	BOMBA VACIADOS - 2	S	N
BCS-003	BOMBA VACIADOS - 3	S	N
BCS-004	BOMBA VACIADOS - 4	S	N
LSH-002	INTERRUPTOR DE ALTO NIVEL DEPÓSITO INTERMEDIO DE	S	N
LSHH-001	INTERRUPTOR DE MUY ALTO NIVEL DEPÓSITO INTERMEDIO DE	S	N
LSL-003	INTERRUPTOR DE NIVEL BAJO DEPÓSITO INTERMEDIO DE	S	N
LSLL-001	INTERRUPTOR DE NIVEL MUY BAJO DEPÓSITO INTERMEDIO DE	S	N

Figura 49. Listado de Equipos: Servicios Auxiliares.

(Elaboración propia, Tricom 2019)

<b>Sección: 12</b>		<b>DESODORIZACION</b>	
<b>Area: 610</b>		<b>Desodorización Química</b>	
<b>Cod.Eq.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Activo</b>	<b>Clave</b>
AVM-001	AGITADOR DOSIFICACIÓN DE HIDRÓXIDO SÓDICO	S	N
BCH-001	BOMBA DESODORIZACIÓN QUÍMICA - F.U.-	N	N
BCH-002	BOMBA DESODORIZACIÓN QUÍMICA -T2	S	N
BCH-003	BOMBA DESODORIZACIÓN QUÍMICA -T1	S	N
BDM-001	BOMBA DOSIFICADORA ÁCIDO SULFÚRICO	S	N
BDM-002	BOMBA DOSIFICADORA HIDRÓXIDO SÓDICO	S	N
BDM-002-1	BOMBA R BOMBA DE DOSIFICACIÓN 1/4 HP	S	S
BDM-003	BOMBA DOSIFICADORA HIPOCLORITO SÓDICO	S	N
BDM-003-1	BOMBA R BOMBA DE DOSIFICACIÓN 1/4 HP	S	S
ELV-001	ELECTROVÁLVULA NORMALMENTE CERRADA - A	S	N
ELV-002	ELECTROVÁLVULA NORMALMENTE CERRADA - B	S	N
FT-001	MEDIDOR CAUDAL RECIRCULACIÓN TORRE DESODORACIÓN - A	S	N
FT-002	MEDIDOR CAUDAL RECIRCULACIÓN TORRE DESODORACIÓN - B	S	N
LSH-001	NIVEL PREVIO DOSIFICADORA ÁCIDO SULFÚRICO	S	N
LSH-002	NIVEL PREVIO DOSIFICADORA HIDRÓXIDO SÓDICO	S	N
LSH-003	NIVEL PREVIO DOSIFICADORA HIPOCLORITO SÓDICO	S	N
LSH-004	NIVEL PREVIO DESODORIZACIÓN QUÍMICA - T1	S	N
LSH-005	NIVEL PREVIO DESODORIZACIÓN QUÍMICA - T2	S	N
LSL-001	INTERRUPTOR DE NIVEL BAJO DOSIFICADORA ÁCIDO SULFÚRICO	S	N
LSL-002	INTERRUPTOR DE NIVEL BAJO DOSIFICADORA HIDRÓXIDO SÓDICO	S	N
LSL-003	INTERRUPTOR DE NIVEL BAJO DOSIFICADORA HIPOCLORITO	S	N
LSL-004	INTERRUPTOR DE NIVEL BAJO DESODORIZACIÓN QUÍMICA - T1	S	N
LSL-005	INTERRUPTOR DE NIVEL BAJO DESODORIZACIÓN QUÍMICA - T2	S	N
LSLL-004	INTERRUPTOR DE NIVEL MUY BAJO DESODORIZACIÓN QUÍMICA - T1	S	N
LSLL-005	INTERRUPTOR DE NIVEL MUY BAJO DESODORIZACIÓN QUÍMICA - T2	S	N
PH-001	ANALIZADOR DE PH DESODORIZACIÓN QUÍMICA - A	S	N
PH-002	ANALIZADOR DE PH DESODORIZACIÓN QUÍMICA - B	S	N
RX-001	DISPOSITIVO DE RADIACIÓN DESODORIZACIÓN QUÍMICA	S	N
VET-001	VENTILADOR DESODORIZACIÓ	S	N

<b>Sección: 12</b>		<b>DESODORIZACION</b>	
<b>Area: 620</b>		<b>Desodorización Biológica</b>	
<b>Cod.Eq.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Activo</b>	<b>Clave</b>
BCH-001	BOMBA DESODORIZACIÓN BIOLÓGICA - T3	S	N
ELV-001	ELECTROVÁLVULA NORMALMENTE CERRADA - A	S	N
ELV-002	ELECTROVÁLVULA NORMALMENTE CERRADA - B	S	N
FT-003	CAUDAL RECIRCULACIÓN TORRE HUMECTACIÓN	S	N
LSH-001	NIVEL PREVIO DESODORIZACIÓN BIOLÓGICA - T3	S	N
LSL-001	INTERRUPTOR DE NIVEL BAJO DESODORIZACIÓN BIOLÓGICA	S	N
LSLL-001	INTERRUPTOR DE NIVEL MUY BAJO DESODORIZACIÓN BIOLÓGICA	S	N
PH-001	ANALIZADOR DE PH DESODORIZACIÓN BIOLÓGICA	S	N

Figura 50. Listado de Equipos: Desodorización.

(Elaboración propia, Tricom 2019)

## B. Cuestionario Norma MES

**Tabla 21.** Evaluación norma MES de Recursos Gerenciales en PTAR Los Tajos.

FICHA DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE MANTENIMIENTO												
Auditoría Marshall de Mantenimiento para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR "Los Tajos", La Uruca, San José, Costa Rica. -Norma MES 1999_Maintenance Effectiveness Survey-												
1. RECURSOS GERENCIALES												
Preguntas	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	Promedio
1. ¿Usted cree que el departamento de mantenimiento tiene los recursos necesarios para realizar su trabajo?	4	2	5	5	3	3	5	3	5	5	5	4.1
2. ¿La estructura completa del mantenimiento parece ser lógica y favorece al cumplimiento de las actividades de mantenimiento?	4	2	5	4	3	4	5	4	4	4	4	3.9
3. ¿La institución ayuda a eliminar las barreras que el técnico de mantenimiento encuentra en su trabajo y de las cuales no tiene control?	3	1	4	4	4	3	3	4	4	4	2	3.3

4. ¿La gerencia de la planta estimula al departamento de mantenimiento a alcanzar las metas de la planta?	3	1	4	4	2	2	2	5	2	2	2	2.6
5. ¿La gerencia estimula a los operarios y demás colaboradores a que ayude a mantenimiento en la realización de sus actividades?	3	1	4	3	2	2	2	4	2	2	2	2.5
6. ¿Se desarrollan equipos de trabajo (mantenimiento, operarios, gerencia), para resolver tópicos que afectan a los departamentos?	3	2	4	4	3	2	3	4	3	2	2	2.9
7. ¿La gerencia estimula al personal de mantenimiento (mecánicos, eléctricos...) y a los operadores a que trabajen juntos en la resolución de problemas que afecten el correcto funcionamiento del proceso de la PTAR?	2	1	5	3	4	2	2	4	2	2	2	2.6
8. ¿El personal de mantenimiento posee las habilidades necesarias para realizar sus trabajos?	4	4	5	5	4	4	4	5	5	8	5	4.8
9. ¿Los trabajadores en general han recibido el adiestramiento adecuado en sus distintas áreas de trabajo?	3	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3.7

10. ¿La gerencia involucra al personal de mantenimiento en la definición de sus objetivos y metas a cumplir?	2	2	5	3	5	4	2	4	3	3	3	3.3
11. ¿La gerencia revisa y le hace seguimiento a los objetivos de la planta en reuniones de trabajo con el personal de mantenimiento y operaciones?	2	2	5	4	4	4	2	5	2	2	2	3.1
12. ¿Los objetivos del mantenimiento están alineados con la visión y misión de la institución?	3	2	4	4	1	5	3	5	4	4	4	3.5
Puntuación Total	36	23	54	47	39	39	36	51	40	42	37	40.4

Fuente: Elaboración propia (Microsoft Word)

**Tabla 22.** Evaluación norma MES de Gestión de la Información en PTAR Los Tajos.

FICHA DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE MANTENIMIENTO												
Auditoría Marshall de Mantenimiento para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR "Los Tajos", La Uruca, San José, Costa Rica. -Norma MES 1999_Maintenance Effectiveness Survey-												
2. GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN												
Preguntas	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	Prome dio
13. ¿La institución utiliza de forma eficiente el sistema computarizado de gestión del mantenimiento?	2	2	5	5	2	2	3	5	2	2	2	2.9
14. ¿Está cada componente identificado, codificado y asociado a un sistema dentro de toda la planta?	1	2	5	4	1	2	4	5	1	1	4	2.7
15. ¿La organización mantiene actualizado el Excel de Programación de Mantenimiento?	3	3	5	4	3	4	4	5	5	5	5	4.2
16. ¿Ha sido el personal debidamente entrenado para su uso?	2	3	4	5	3	4	3	4	3	3	3	3.4
17. ¿La organización mantiene registros precisos de fallas de sus sistemas?	2	3	5	4	3	4	4	5	4	4	4	3.8
18. ¿Están los inventarios de repuestos dentro del Excel de Programación de Mantenimiento?	1	1	5	4	2	2	4	2	1	1	1	2.2
19. ¿Se toman decisiones a partir de los reportes generados por él?	1	3	5	4	3	2	3	4	4	4	4	3.4
20. ¿La institución estima y le hace seguimiento a los costos de mantenimiento?	1	3	4	4	1	4	3	4	4	4	4	3.3
21. ¿La institución evalúa los tiempos operativos y fuera de servicio de los equipos/procesos de la PTAR?	1	2	4	5	2	3	4	1	2	2	2	2.5
22. ¿Tanto la institución como el departamento de mantenimiento se compara contra otras	1	1	5	4	2	2	3	1	4	4	3	2.7



organizaciones para medir su desempeño ("benchmarking")?												
23. ¿El tiempo de realización del mantenimiento es registrado y evaluado?	1	2	4	5	2	4	3	5	4	4	3	3.4
24. ¿La gerencia de mantenimiento utiliza algún tipo de medida de comparación (costos de mantenimiento/costo de reposición del equipo)?	2	2	4	4	3	3	3	1	5	5	5	3.4
<b>Puntuación Total</b>	<b>18</b>	<b>27</b>	<b>55</b>	<b>52</b>	<b>27</b>	<b>36</b>	<b>41</b>	<b>42</b>	<b>39</b>	<b>39</b>	<b>40</b>	<b>37.8</b>

Fuente: Elaboración propia (Microsoft Word)

**Tabla 23.** Evaluación norma MES de Mantenimiento Preventivo y Equipos Tecnológicos en PTAR Los Tajos.

FICHA DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE MANTENIMIENTO												
Auditoría Marshall de Mantenimiento para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR "Los Tajos", La Uruca, San José, Costa Rica. -Norma MES 1999_Maintenance Effectiveness Survey-												
3. MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y EQUIPOS TECNOLÓGICOS												
Preguntas	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	Promedio
25. ¿La organización utiliza órdenes de trabajo para actividades de Mantenimiento Preventivo y Predictivo?	4	3	5	5	4	5	4	5	5	5	5	4.5
26. ¿Se revisan periódicamente los planes de Mantenimiento Programado, aumento/descenso, necesidades de adiestramiento, etc.?	4	2	5	5	4	5	4	5	5	5	5	4.5
27. ¿La institución tiene personal de mantenimiento dedicado exclusivamente a realizar actividades de Mantenimiento Programado (Preventivo y Predictivo)?	4	2	5	5	3	4	3	5	5	5	5	4.2

28. ¿Los operadores ayudan en las actividades de mantenimiento menor (limpieza, lubricación, ajuste e inspección visual)?	1	2	4	3	2	3	3	3	3	4	2	2.7
29. ¿La institución utiliza técnicas de mantenimiento predictivo (vibración, análisis de aceite, ultrasonido, etc.) adecuadamente?	3	2	4	5	2	5	3	5	5	5	5	4.0
30. ¿La institución les da seguimiento a los costos de mantenimiento preventivo y predictivo?	1	2	4	5	4	4	3	5	5	5	5	3.9
31. ¿Los grupos de operación y laboratorio permiten que el personal de mantenimiento tenga acceso a los equipos en las fechas estimadas de MP?	4	2	5	4	2	5	3	5	5	5	5	4.1
32. ¿La institución tiene la cultura de analizar y evitar las fallas repetitivas?	2	3	4	4	3	4	3	5	3	4	3	3.5
33. ¿Se incluye al personal de operación, mantenimiento y laboratorio en el proceso de evaluación de equipos nuevos?	2	3	4	4	2	4	4	5	2	2	2	3.1
34. ¿Se adiestra de forma adecuada a las personas que van a operar los equipos nuevos?	4	3	4	5	1	4	3	5	3	3	4	3.5
35. ¿Se adiestra de forma adecuada a las personas que van a mantener los equipos nuevos?	3	3	5	5	1	4	3	5	4	4	4	3.7
36. ¿La organización hace seguimiento y evalúa los costos de operación y mantenimiento, a lo largo del ciclo de vida de sus activos?	1	3	5	4	3	5	3	5	5	4	4	3.8
Puntuación Total	33	30	54	54	31	52	39	58	50	51	49	45.5

Fuente: Elaboración propia (Microsoft Word)

**Tabla 24.** Evaluación norma MES de Planificación y Programación en PTAR Los Tajos.

FICHA DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE MANTENIMIENTO												
Auditoría Marshall de Mantenimiento para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR "Los Tajos", La Uruca, San José, Costa Rica. -Norma MES 1999_ Maintenance Effectiveness Survey-												
4. PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN												
Preguntas	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	Prom edio
37. ¿Son priorizadas las actividades de mantenimiento correctivo/preventivo?	5	3	4	5	4	5	3	4	5	5	5	4.4
38. ¿El departamento de mantenimiento utiliza órdenes de trabajo para las actividades correctivas?	5	3	5	5	4	5	4	5	5	5	5	4.6
39. ¿Se le hace seguimiento a la ejecución de las actividades de mantenimiento correctivo/preventivo?	5	3	5	5	4	5	4	5	4	4	4	4.4
40. ¿El departamento de mantenimiento controla el sobre tiempo (adicional al planificado) en las labores de M. P?	2	3	4	5	3	4	3	5	2	2	3	3.3
41. ¿La institución/departamento registra la información obtenida por la ejecución de la actividad de mantenimiento (correctiva/preventiva)?	3	3	5	5	4	4	3	4	4	4	4	3.9
42. ¿Son los técnicos de mantenimiento asignados a las distintas labores en función de sus conocimientos y habilidades?	5	3	4	5	4	5	4	5	5	5	5	4.5
43. ¿Las actividades correctivas son bien planificadas antes de ejecutarse?	5	3	5	5	5	5	4	5	5	5	4	4.6
44. ¿La institución utiliza planificadores de mantenimiento para preparar en un tiempo determinado el alcance de mantenimiento mayores ("Paradas, revisiones")?	3	3	5	5	3	4	3	5	4	4	3	3.8

45. ¿El departamento de mantenimiento utiliza contratistas calificadas para realizar trabajos de mantenimiento (subcontrataciones)?	5	3	3	5	5	5	4	4	5	5	5	4.5
46. ¿El departamento de mantenimiento participa en la definición de las actividades de trabajo y en la estimación de tiempos de ejecución de los contratistas?	3	3	5	5	5	5	4	4	5	3	3	4.1
47. ¿Se tiene en cuenta el impacto (seguridad, ambiente y producción) que tiene el sistema en el cual se va a ejecutar el mantenimiento?	5	4	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4.6
48. ¿Se define el camino crítico de los mantenimientos mayores y se identifican los repuestos críticos?	3	3	4	5	5	5	4	5	5	4	4	4.3
<b>Puntuación Total</b>	<b>49</b>	<b>37</b>	<b>54</b>	<b>60</b>	<b>51</b>	<b>57</b>	<b>45</b>	<b>56</b>	<b>53</b>	<b>50</b>	<b>49</b>	<b>51.0</b>

Fuente: Elaboración propia (Microsoft Word)

**Tabla 25.** Evaluación norma MES de Soporte, Calidad y Motivación en PTAR Los Tajos.

FICHA DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE MANTENIMIENTO												
Auditoría Marshall de Mantenimiento para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR "Los Tajos", La Uruca, San José, Costa Rica. -Norma MES 1999_ Maintenance Effectiveness Survey-												
5. SOPORTE, CALIDAD Y MOTIVACIÓN												
Preguntas	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	Promedio
49. ¿Están disponibles los repuestos y materiales a la hora de ejecutar actividades de mantenimiento?	4	2	5	3	3	4	4	1	4	3	3	3.3
50. ¿Está la bodega/almacén de repuestos bien organizado y sus tiempos de respuesta son eficientes?	1	2	5	4	2	3	3	4	4	2	2	2.9

51. ¿Se controla bien la salida y entrada de repuestos al almacén?	1	2	5	4	2	3	3	2	3	3	3	2.8
52. ¿Se tiene un proceso de cuantificación de stock de repuestos que incluya el criterio del impacto de no tener el repuesto en almacén?	2	2	4	4	2	3	3	1	3	3	3	2.7
53. ¿Se tienen identificados los tiempos de reposición y los costos de los repuestos?	1	2	4	4	2	3	4	1	3	3	3	2.7
54. ¿El criterio de calidad en el desarrollo de las actividades de mantenimiento está por encima del criterio de rapidez?	3	2	5	5	4	5	4	4	4	4	3	3.9
55. ¿Se tiene un proceso que permita verificar la calidad de las actividades de mantenimiento ejecutadas?	2	2	5	4	3	5	3	4	4	3	4	3.5
56. ¿Es la calidad en el área de mantenimiento un objetivo importante?	3	4	5	5	4	5	3	5	5	5	4	4.4
57. ¿Tiene la institución un interés real en satisfacer las diferentes necesidades de sus trabajadores?	4	2	4	4	4	5	2	5	3	3	2	3.5
58. ¿El buen desempeño de los trabajadores es bien recompensado dentro de la organización (económico-motivacional)?	3	2	4	4	2	4	2	3	3	2	2	2.8
59. ¿El personal de mantenimiento está motivado para realizar su trabajo lo mejor posible?	4	2	5	4	4	5	2	5	4	3	3	3.7
60. ¿El personal de mantenimiento sigue las políticas y procedimientos de seguridad?	4	3	4	4	4	4	3	5	5	4	4	4.0
Puntuación Total	32	27	55	49	36	49	36	40	45	38	36	40.3

Fuente: Elaboración propia (Microsoft Word)

## C. Cuadro de Mando Integral (CMI)

PERSPECTIVA	OBJETIVOS	INDICADOR	DESCRIPCIÓN	FUENTE DE INFORMACIÓN	CÓDIGO	FÓRMULA	UNIDAD	FRECUENCIA	RESPONSABLE	META	
										BIEN	MALO
Financiera	Cumplir con el presupuesto asignado para el departamento de mantenimiento en un 100% ±5%	Cumplimiento de presupuesto	Gasto del presupuesto anual de mantenimiento, desde el punto de vista de la ejecución financiera versus el programa de mantenimiento	Departamento de Mantenimiento	RF01	$CP = \frac{\text{Gasto de mantenimiento}}{\text{Presupuesto de mantenimiento}} \times 100$	%	Anual	Coordinador Mantenimiento	100%<CP=80%	>85%
		Tiempo medio entre fallas	Relación entre el producto del número de horas de operación y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el periodo	Cálculo de TMEF	IRC02	$TMEF = \frac{\% \text{ ítems o equipos} \times \text{Horas de oper. de los equipos}}{\% \text{ Total de Fallas}}$	h	Mensual	Técnico especialista	NA	NA
	Tiempo medio de reparación	Relación entre el tiempo total de inversión correcta en un conjunto de ítem con falla y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el tiempo periodo observado	Cálculo de TMFR	IRC03	$TMFR = \frac{\text{Horas totales mantenimiento correctivo}}{\% \text{ Total de Fallas del equipo}}$	h	Mensual	Técnico especialista	NA	NA	NA
	Disponibilidad	La disponibilidad es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo en el que un equipo disponible para cumplir la función para la cual fue diseñado	Cálculo de disponibilidad	IRC04	$D = \frac{TMEF}{TMEF + TMFR} \times 100\%$	%	Mensual	Técnicos especialistas	≥80%	80%<D=90%	<80%
Procesos Internos	Asegurar el cumplimiento de las actividades de mantenimiento preventivo en un 100% y reducir el mantenimiento correctivo	Cumplimiento de mantenimiento preventivo	Proporción de órdenes planificadas que se realizaron, con respecto al total de órdenes planificadas. Medido el grado de sobre en la planificación.	Departamento de Mantenimiento	RP01	$CMP = \frac{OT's \text{ de Mto Planificado realizado}}{OT's \text{ de Mto Planificado total}} \times 100$	%	Mensual	Encargados de Mantenimiento	90%<	70%>
		Índice de mantenimiento correcto	Porcentaje de horas invertidas en realización de mantenimiento correcto, sobre horas totales de mantenimiento	Departamento de Mantenimiento	RP02	$IMC = \frac{\text{Horas Mto Correctivo}}{\text{Horas Totales de Mto (prev, corr, pred)}} \times 100$	%	Mensual	Encargados de Mantenimiento	30%<	30%>
	% de Repuestos disponibles	Disponibilidad de los repuestos de los equipos de producción continua de agua tratada	Departamento de Mantenimiento	RP03	$\% RD = \frac{\text{Repuestos disponibles}}{\text{Total de Repuestos}} \times 100$	%	Anual	Encargados de Mantenimiento	80%<	80%>	
Apoyos y Crecimiento	Aumentar la motivación del personal del Departamento de Mantenimiento mediante el uso de capacitaciones y herramientas de aprendizaje para mejorar el trabajo realizado	Capacitación al personal	Horas de capacitación profesional que reciben los empleados del Departamento de Mantenimiento. Se debe llevar un registro de las horas invertidas en capacitación	Departamento de Mantenimiento	RA01	$Nca = \text{Número de capacitaciones} \times \text{Horas}$	h	Anual	Encargados de Mantenimiento	90%<	70%>
		Seguridad laboral	Proporción de la cantidad de incapacidades de los empleados del departamento de Facilidades debido a accidentes laborales, con respecto a un tiempo determinado.	Departamento de Seguridad y Salud	RA02	$SL = \frac{\text{Incapacidades de empleados}}{\text{Tiempo}}$	#	Semestral	Especialista en Seguridad y Salud	≤2	>2 y ≤4
	Número de acciones inauguradas o accidentes	Número de accidentes o acciones inseguras en el periodo de un año. Se determina contabilizando la cantidad de veces ocurre un accidente anualmente	Departamento de Seguridad y Salud	RA03	$\# \text{ Accidentes} = \frac{\# \text{ de Lesiones}}{\text{Tiempo}}$	#	Anual	Especialista en Seguridad y Salud	≤2	>2 y ≤4	70%>

Figura 44. Cuadro de Mando Integral: Matriz de Indicadores de Mantenimiento, PTAR Los Tajos.

(Elaboración propia, Excel 2019)

## D. Matriz de criticidad por el método CTR

**Tabla 26.** Matriz de Criticidad de los equipos de la PTAR Los Tajos.

MODELO DE CRITICIDAD SEMICUANTITATIVO - MRC: MATRIZ DE CRITICIDAD POR RIESGO -											
Método MCR diseñado para activos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR "Los Tajos", La Uruca, San José, Costa Rica.											
Tomada de referencia al método MCR de Off Shore del área de Magallanes, elaborada por ENAP SIPETROL											
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES											
Sección	Procesos de tratamiento Primario	Equipo	Factores de Consecuencias de Fallos						Total	CTR	Estado
			FF	SHA	IP	BM	CM	IC			
Desbaste	CBV-110-001	CUCHARA BIVALVA POZO DE GRUESOS	4	1	3	5	3	3	22	88	C
Obra de llegada / Pozo de Gruesos	COM-110-002	COMPUERTA BYPASS PLANTA (obra de llegada)	1	5	1	5	3	1	14	14	NC
Obra de llegada / Pozo de Gruesos	COM-110-003	COMPUERTA ENTRADA A POZO GRUESOS	2	5	3	5	3	2	25	50	MC
Obra de llegada / Pozo de Gruesos	FT-110-001	MEDIDOR CAUDAL ENTRADA AGUA BRUTA	4	4	5	3	2	5	26	104	C
Obra de llegada /	FT-110-004	MEDIDOR CAUDAL BY-	3	3	1	1	2	2	8	24	MC

Pozo de Gruesos		PASS GENERAL										
Desbaste	GRV-110-001	GRÚA DESARENADO MOTOR PRINCIPAL 5T	3	3	5	5	3	1	32	96	C	
Desbaste	COC-120-001	COMPUERTA ENTRADA CANAL DESBASTE - A	1	3	1	3	3	3	12	12	NC	
Desbaste	COC-120-002	COMPUERTA ENTRADA CANAL DESBASTE - B	1	3	1	3	3	3	12	12	NC	
Desbaste	COC-120-003	COMPUERTA ENTRADA CANAL DESBASTE - C	1	3	1	3	3	3	12	12	NC	
Desbaste	COC-120-004	COMPUERTA SALIDA CANAL DESBASTE - A	1	3	1	3	3	3	12	12	NC	
Desbaste	COC-120-005	COMPUERTA SALIDA CANAL DESBASTE - B	1	3	1	3	3	3	12	12	NC	
Desbaste	COC-120-006	COMPUERTA SALIDA CANAL DESBASTE - C	1	3	1	3	3	3	12	12	NC	
Desbaste	EMG-120-001	ESTACIÓN DE MEDICIÓN DE GASES DESBASTE	2	3	5	5	3	1	32	64	C	
Desbaste	LSH-120-001	NIVEL PREVIO REJA GRUESOS CANAL - A	1	3	1	1	1	1	6	6	NC	
Desbaste	LSH-120-002	NIVEL PREVIO REJA GRUESOS CANAL - B	1	3	1	1	1	1	6	6	NC	
Desbaste	LSH-120-003	NIVEL PREVIO REJA GRUESOS	1	3	1	1	1	1	6	6	NC	



		CANAL - C										
Desbaste	LSH-120-004	NIVEL VERTEDERO	1	3	1	1	1	5	10	10	NC	
Desbaste	LSH-120-005	NIVEL PREVIO REJA GRUESOS CANAL - A	1	1	1	1	1	1	4	4	NC	
Desbaste	LSH-120-006	NIVEL PREVIO TAMIZ FINOS CANAL - A	1	1	1	1	1	1	4	4	NC	
Desbaste	LSH-120-007	NIVEL PREVIO REJA GRUESOS CANAL - B	2	3	1	1	1	1	6	12	NC	
Desbaste	LSH-120-008	NIVEL PREVIO TAMIZ FINOS CANAL - B	2	3	1	1	1	1	6	12	NC	
Desbaste	LSL-120-001	INTERRUPTOR DE NIVEL BAJO CANAL DESBASTE - A	1	1	1	1	1	1	4	4	NC	
Desbaste	LSL-120-002	INTERRUPTOR DE NIVEL BAJO CANAL DESBASTE - B	1	1	1	1	1	1	4	4	NC	
Desbaste	LSL-120-003	INTERRUPTOR DE NIVEL BAJO CANAL DESBASTE - C	1	1	1	1	1	1	4	4	NC	
Desbaste	RJA-120-001	REJA GRUESOS CANAL DESBASTE - A	4	3	4	3	3	5	23	92	C	
Desbaste	RJA-120-002	REJA GRUESOS CANAL DESBASTE - B	4	3	4	3	3	5	23	92	C	
Desbaste	TMA-120-001	TAMIZ FILTRANTE	4	3	4	3	3	5	23	92	C	

		CANAL DESBASTE - A										
Desbaste	TMA-120-002	TAMIZ FILTRANTE CANAL DESBASTE - B	4	3	4	3	3	5	23	92	C	
Desbaste	TTR-120-001	TORNILLO TRANSPORTADO R - A	3	4	4	3	2	5	23	69	MC	
Desbaste	TTR-120-002	TORNILLO TRANSPORTADO R - B	3	3	4	3	2	5	22	66	MC	
Desbaste	TTR-120-003	TORNILLO RECOGIDA	4	3	4	3	2	5	22	88	C	

Desarena do	ABF-130-001	AIREADOR SUMERGIBLE - A1	2	3	3	3	2	2	16	32	NC
Desarena do	ABF-130-002	AIREADOR SUMERGIBLE - A2	3	3	3	3	2	2	16	48	MC
Desarena do	ABF-130-003	AIREADOR SUMERGIBLE - B1	2	3	3	3	2	2	16	32	NC
Desarena do	ABF-130-004	AIREADOR SUMERGIBLE - B2	2	3	3	3	2	2	16	32	NC
Desarena do	ABF-130-005	AIREADOR SUMERGIBLE - C1	1	3	3	3	2	2	16	16	NC
Desarena do	ABF-130-006	AIREADOR SUMERGIBLE - C2	1	3	3	3	2	2	16	16	NC

Desarena do	CLA-130-001	CLASIFICADOR DE ARENAS	1	3	5	5	2	1	31	31	MC
Desarena do	CLG-130-001	CLASIFICADOR DE GRASAS	1	3	5	5	2	1	31	31	MC
Desarena do	COC-130-004	COMPUERTA ENTRADA DESARENADOR - A	1	3	1	5	3	3	14	14	NC
Desarena do	COC-130-005	COMPUERTA ENTRADA DESARENADOR - B	1	3	1	5	3	3	14	14	NC
Desarena do	COC-130-006	COMPUERTA ENTRADA DESARENADOR - C	1	3	1	5	3	3	14	14	NC
Desarena do	ELV-130-001	ELECTROVÁLVUL A	1	1	1	1	1	1	4	4	NC
Desarena do	ELV-130-002	ELECTROVÁLVUL A	1	1	1	1	1	1	4	4	NC
Desarena do	FT-130-001	MEDIDOR CAUDAL ENTRADA AGUA DESARENADOR - A	1	1	1	1	2	3	7	7	NC
Desarena do	FT-130-002	MEDIDOR CAUDAL ENTRADA AGUA DESARENADOR - B	1	1	1	1	2	3	7	7	NC
Desarena do	FT-130-003	MEDIDOR CAUDAL ENTRADA AGUA DESARENADOR - C	1	1	1	1	2	3	7	7	NC
Desarena do	FT-130-004	MEDIDOR CAUDAL SALIDA	1	1	1	1	2	3	7	7	NC

		AGUA DESARENADOR - A										
Desarena do	FT-130-005	MEDIDOR CAUDAL SALIDA AGUA DESARENADOR - B	1	1	1	1	2	3	7	7	NC	
Desarena do	FT-130-006	MEDIDOR CAUDAL SALIDA AGUA DESARENADOR - C	1	1	1	1	2	3	7	7	NC	
Desarena do	GRV-130-001	GRÚA DESARENADO MOTOR PRINCIPAL 3T	3	1	1	5	3	1	10	30	MC	
Desarena do	PDS-130-001	PUENTE DESARENADOR - A	3	3	3	3	2	2	16	48	MC	
Desarena do	PDS-130-002	PUENTE DESARENADOR - B	3	3	3	3	2	2	16	48	MC	
Desarena do	PDS-130-003	PUENTE DESARENADOR - C	3	3	3	3	2	2	16	48	MC	
Desarena do	PT-130-001	MEDIDOR PRESION AIRE A DESARENADOR - A	1	1	1	1	2	1	5	5	NC	
Desarena do	PT-130-002	MEDIDOR PRESION AIRE A DESARENADOR - B	1	1	1	1	2	1	5	5	NC	
Desarena do	PT-130-003	MEDIDOR PRESION AIRE A DESARENADOR - C	1	1	1	1	2	1	5	5	NC	

Tanque de Vacidados	BCS-140-004	BOMBA VACIADOS PRETRATAMIENTO - 1	4	3	1	1	2	2	8	32	MC
Tanque de Vacidados	BCS-140-005	BOMBA VACIADOS PRETRATAMIENTO - 2	4	3	1	1	2	2	8	32	MC
Tanque de Vacidados	LSH-140-002	INTERRUPTOR DE ALTO NIVEL TANQUE DE VACIADOS	1	1	1	1	1	3	6	6	NC
Tanque de Vacidados	LSHH-140-001	INTERRUPTOR DE MUY ALTO NIVEL TANQUE DE VACIADOS	1	1	1	1	1	3	6	6	NC
Tanque de Vacidados	LSL-140-003	INTERRUPTOR DE NIVEL BAJO TANQUE DE VACIADOS	1	1	1	1	1	3	6	6	NC
Soplantes Aire Desarena do	PLV-150-001	POLIPASTO SALA SOPLANTES DESARENADO	1	1	1	5	3	1	10	10	NC
Soplantes Aire Desarena do	SEA-150-001	SOPLANTE DESARENADOR - A -	3	1	1	1	2	2	6	18	MC
Soplantes Aire Desarena do	SEA-150-002	SOPLANTE DESARENADOR - B -	3	1	1	1	2	2	6	18	MC
Soplantes Aire Desarena do	SEA-150-003	SOPLANTE DESARENADOR - C -	3	1	1	1	2	2	6	18	MC
Soplantes Aire Desarena do	SEA-150-004	SOPLANTE DESARENADOR - R -	3	1	1	1	2	2	6	18	MC

do												
Soplantes Aire Desarena do	VET-150-001	VENTILADOR SALA DE SOPLANTES DESARENADORES	1	1	1	5	1	1	8	8	NC	
Agitación mediante soplantes y difusores (primer tercio)	AVM-210-001	AGITADOR CÁMARA DE FLOCULACIÓN - A	2	1	1	1	3	1	6	12	NC	
Agitación mediante soplantes y difusores (primer tercio)	AVM-210-002	AGITADOR CÁMARA DE FLOCULACIÓN - B	1	1	1	1	3	1	6	6	NC	
Agitación mediante soplantes y difusores (primer tercio)	AVM-210-003	AGITADOR CÁMARA DE FLOCULACIÓN - C	2	1	1	1	3	1	6	12	NC	
Agitación mediante soplantes y difusores (primer tercio)	AVM-210-004	AGITADOR CÁMARA DE FLOCULACIÓN - D	1	1	1	1	3	1	6	6	NC	
Agitación mediante soplantes y difusores (primer tercio)	AVM-210-005	AGITADOR CÁMARA DE MEZCLA - A	1	1	1	1	3	1	6	6	NC	

Agitación mediante soplantes y difusores (primer tercio)	AVM-210-006	AGITADOR CÁMARA DE MEZCLA - B	2	1	1	1	3	1	6	12	NC
Agitación mediante soplantes y difusores (primer tercio)	AVM-210-007	AGITADOR CÁMARA DE MEZCLA - C	1	1	1	1	3	1	6	6	NC
Agitación mediante soplantes y difusores (primer tercio)	AVM-210-008	AGITADOR CÁMARA DE MEZCLA - D	1	1	1	1	3	1	6	6	NC
Agitación mecánica (segundo tercio)	BCV-210-001	DECANTADOR LAMELAR - A	1	5	2	1	3	3	13	13	NC
Agitación mecánica (segundo tercio)	BCV-210-002	DECANTADOR LAMELAR - B	1	5	2	1	3	3	13	13	NC
Agitación mecánica (segundo tercio)	BCV-210-003	DECANTADOR LAMELAR - C	1	5	2	1	3	3	13	13	NC
Agitación mecánica (segundo tercio)	BCV-210-004	DECANTADOR LAMELAR - D	1	5	2	1	3	3	13	13	NC
Agitación mecánica (segundo tercio)	COC-210-001	COMPUERTA BYPASS DECANTADOR LAMELAR - A	2	3	1	5	3	1	12	24	NC

Agitación mecánica (segundo tercio)	COC-210-002	COMPUERTA BYPASS DECANTADOR LAMELAR - B	1	3	1	5	3	1	12	12	NC
Agitación mecánica (segundo tercio)	COC-210-003	COMPUERTA BYPASS DECANTADOR LAMELAR - C	1	3	1	5	3	1	12	12	NC
Agitación mecánica (segundo tercio)	COC-210-004	COMPUERTA BYPASS DECANTADOR LAMELAR - D	1	3	1	5	3	1	12	12	NC
Sistema de Sedimentación Primaria	FT-210-001	MEDIDOR CAUDAL DECANTADOR 1º - A	1	3	2	1	2	1	8	8	NC
Sistema de Sedimentación Primaria	FT-210-002	MEDIDOR CAUDAL DECANTADOR 1º - B	1	3	2	1	2	1	8	8	NC
Sistema de Sedimentación Primaria	FT-210-003	MEDIDOR CAUDAL DECANTADOR 1º - C	1	3	2	1	2	1	8	8	NC
Sistema de Sedimentación Primaria	FT-210-004	MEDIDOR CAUDAL DECANTADOR 1º - D	1	3	2	1	2	1	8	8	NC
Sistema de Sedimentación Primaria	LSH-210-001	INTERRUPTOR DE NIVEL ALTO DECANTACIÓN PRIMARIA 1-2	1	3	1	1	1	1	6	6	NC
Sistema de Sedimentación	LSH-210-002	INTERRUPTOR DE NIVEL ALTO DECANTACIÓN	1	3	1	1	1	1	6	6	NC



Primaria		PRIMARIA 3-4										
Sistema de Sedimentación Primaria	LSH-210-003	INTERRUPTOR DE NIVEL ALTO DECANTADOR 1	1	3	1	1	1	1	6	6	NC	
Sistema de Sedimentación Primaria	LSH-210-004	INTERRUPTOR DE NIVEL ALTO DECANTADOR 2	1	3	1	1	1	1	6	6	NC	
Sistema de Sedimentación Primaria	LSH-210-005	INTERRUPTOR DE NIVEL ALTO DECANTADOR 3	1	3	1	1	1	1	6	6	NC	
Sistema de Sedimentación Primaria	LSH-210-006	INTERRUPTOR DE NIVEL ALTO DECANTADOR 4	1	3	1	1	1	1	6	6	NC	
Sistema de Sedimentación Primaria	LSL-210-001	INTERRUPTOR DE NIVEL BAJO DECANTACIÓN PRIMARIA 1-2	1	1	1	1	1	1	4	4	NC	
Sistema de Sedimentación Primaria	LSL-210-002	INTERRUPTOR DE NIVEL BAJO DECANTACIÓN PRIMARIA 3-4	1	1	1	1	1	1	4	4	NC	
Sistema de Sedimentación Primaria	VCM-210-001	COMPUERTA DECANTACIÓN PRIMARIA	1	3	1	5	3	1	12	12	NC	
Sistema de Sedimentación Primaria	VCM-210-002	COMPUERTA DECANTACIÓN PRIMARIA	1	3	1	5	3	1	12	12	NC	

Sistema de Sedimentación Primaria	VCM-210-003	COMPUERTA DECANTACIÓN PRIMARIA	1	3	1	5	3	1	12	12	NC
Sistema de Sedimentación Primaria	VCM-210-004	COMPUERTA DECANTACIÓN PRIMARIA	1	3	1	5	3	1	12	12	NC
Sistema de Sedimentación Primaria	VCM-210-005	COMPUERTA DECANTACIÓN PRIMARIA	1	3	1	5	3	1	12	12	NC
Sistema de Sedimentación Primaria	VCM-210-006	COMPUERTA DECANTACIÓN PRIMARIA	1	3	1	5	3	1	12	12	NC
Sistema de Sedimentación Primaria	VCM-210-007	COMPUERTA DECANTACIÓN PRIMARIA	1	3	1	5	3	1	12	12	NC
Sistema de Sedimentación Primaria	VCM-210-008	COMPUERTA DECANTACIÓN PRIMARIA	1	3	1	5	3	1	12	12	NC

Recirculación de Lodos Primarios / Bombeo de Grasas	BCH-220-001	BOMBA RECIRCULACIÓN LODOS PRIMARIOS - A1	1	1	1	1	2	1	5	5	NC
Recirculación de Lodos Primarios	BCH-220-002	BOMBA RECIRCULACIÓN LODOS	2	1	1	1	2	1	5	10	NC

/ Bombeo de Grasas		PRIMARIOS - A2										
Recirculación de Lodos Primarios / Bombeo de Grasas	BCH-220-003	BOMBA RECIRCULACIÓN Lodos PRIMARIOS - B1	1	1	1	1	2	1	5	5	NC	
Recirculación de Lodos Primarios / Bombeo de Grasas	BCH-220-004	BOMBA RECIRCULACIÓN Lodos PRIMARIOS - B2	1	1	1	1	2	1	5	5	NC	
Recirculación de Lodos Primarios / Bombeo de Grasas	BCH-220-005	BOMBA RECIRCULACIÓN Lodos PRIMARIOS - ABR	1	1	1	1	2	1	5	5	NC	
Recirculación de Lodos Primarios / Bombeo de Grasas	BCH-220-006	BOMBA RECIRCULACIÓN Lodos PRIMARIOS - C1	1	1	1	1	2	1	5	5	NC	
Recirculación de Lodos Primarios / Bombeo de Grasas	BCH-220-007	BOMBA RECIRCULACIÓN Lodos PRIMARIOS - C2	1	1	1	1	2	1	5	5	NC	
Recirculación de Lodos Primarios / Bombeo de Grasas	BCH-220-008	BOMBA RECIRCULACIÓN Lodos PRIMARIOS - D1	1	1	1	1	2	1	5	5	NC	
Recirculación de Lodos	BCH-220-009	BOMBA RECIRCULACIÓN Lodos	1	1	1	1	2	1	5	5	NC	

Primarios / Bombeo de Grasas		PRIMARIOS - D2										
Recirculación de Lodos Primarios / Bombeo de Grasas	BCH-220-010	BOMBA RECIRCULACIÓN LODOS PRIMARIOS - CDR	1	1	1	1	2	1	5	5	NC	
Recirculación de Lodos Primarios / Bombeo de Grasas	BTH-220-001	BOMBA RECIRCULACIÓN LODOS PRIMARIOS	1	1	1	1	2	2	6	6	NC	
Recirculación de Lodos Primarios / Bombeo de Grasas	BTH-220-002	BOMBA RECIRCULACIÓN LODOS PRIMARIOS	1	1	1	1	2	2	6	6	NC	
Recirculación de Lodos Primarios / Bombeo de Grasas	BTH-220-003	BOMBA RECIRCULACIÓN LODOS PRIMARIOS	1	1	1	1	2	2	6	6	NC	
Recirculación de Lodos Primarios / Bombeo de Grasas	BTH-220-004	BOMBA RECIRCULACIÓN LODOS PRIMARIOS	1	1	1	1	2	2	6	6	NC	
Recirculación de Lodos Primarios / Bombeo de Grasas	CLG-220-001	DESNATADOR DEC. PRIMARIA (Separador de Grasas)	1	1	1	5	1	1	8	8	NC	
Recirculación de Lodos	FT-220-001	MEDIDO CAUDAL SALIDA BOMBA RECIRCULACIÓN -	1	1	1	1	2	1	5	5	NC	

Primarios / Bombeo de Grasas		A										
Recirculación de Lodos Primarios / Bombeo de Grasas	FT-220-002	MEDIDO CAUDAL SALIDA BOMBA RECIRCULACIÓN - B	1	1	1	1	2	1	5	5	NC	
Recirculación de Lodos Primarios / Bombeo de Grasas	FT-220-003	MEDIDO CAUDAL SALIDA BOMBA RECIRCULACIÓN - C	1	1	1	1	2	1	5	5	NC	
Recirculación de Lodos Primarios / Bombeo de Grasas	FT-220-004	MEDIDO CAUDAL SALIDA BOMBA RECIRCULACIÓN - D	1	1	1	1	2	1	5	5	NC	
Recirculación de Lodos Primarios / Bombeo de Grasas	PSH-220-001	INTERRUPTOR DE ALTA PRESIÓN RECIRCULACIÓN DE LODOS PRIMARIOS	1	3	1	1	2	1	7	7	NC	
Recirculación de Lodos Primarios / Bombeo de Grasas	PSH-220-002	INTERRUPTOR DE ALTA PRESIÓN RECIRCULACIÓN DE LODOS PRIMARIOS	1	3	1	1	2	1	7	7	NC	
Recirculación de Lodos Primarios / Bombeo de Grasas	PT-220-001	MEDIDOR PRESION RECIRC. LODOS DEC. - A	1	3	1	1	2	1	7	7	NC	
Recirculación de Lodos	PT-220-002	MEDIDOR PRESION RECIRC. LODOS DEC. - B	1	3	1	1	2	1	7	7	NC	

Primarios / Bombeo de Grasas												
Recirculación de Lodos Primarios / Bombeo de Grasas	PT-220-003	MEDIDOR PRESION RECIRC. LODOS DEC. - C	1	3	1	1	2	1	7	7	NC	
Recirculación de Lodos Primarios / Bombeo de Grasas	PT-220-004	MEDIDOR PRESION RECIRC. LODOS DEC. - D	1	3	1	1	2	1	7	7	NC	
Arqueta de reparto	COM-230-001	COMPUERTA DECANTACIÓN PRIMARIA - A	1	3	1	5	3	3	14	14	NC	
Arqueta de reparto	COM-230-002	COMPUERTA DECANTACIÓN PRIMARIA - B	1	3	1	5	3	3	14	14	NC	
Arqueta de reparto	COM-230-003	COMPUERTA DECANTACIÓN PRIMARIA - C	1	3	1	5	3	3	14	14	NC	
Arqueta de reparto	COM-230-004	COMPUERTA DECANTACIÓN PRIMARIA - D	1	3	1	5	3	3	14	14	NC	
Arqueta de reparto	FT-240-001	MEDIDOR CAUDAL SALIDA AGUA TRATADA	3	3	1	1	2	5	11	33	MC	
Bombeo Lodos Primarios a Tamizado de Lodos	BTH-710-001	BOMBA DE LODOS PRIMARIOS - A -	2	3	2	1	2	3	10	20	NC	
Bombeo Lodos Primarios	BTH-710-002	BOMBA DE LODOS PRIMARIOS - B -	2	3	2	1	2	3	10	20	NC	

a Tamizado de Lodos												
Bombeo Lodos Primarios a Tamizado de Lodos	BTH-710-003	BOMBA DE LODOS PRIMARIOS - AB -	2	3	2	1	2	3	10	20	NC	
Bombeo Lodos Primarios a Tamizado de Lodos	BTH-710-004	BOMBA DE LODOS PRIMARIOS - C -	1	3	2	1	2	3	10	10	NC	
Bombeo Lodos Primarios a Tamizado de Lodos	BTH-710-005	BOMBA DE LODOS PRIMARIOS - D -	1	3	2	1	2	3	10	10	NC	
Bombeo Lodos Primarios a Tamizado de Lodos	BTH-710-006	BOMBA DE LODOS PRIMARIOS - CD -	1	3	2	1	2	3	10	10	NC	
Bombeo Lodos Primarios a Tamizado de Lodos	PLV-710-001	POLIPASTO SALA BOMBEO LODOS PRIMARIOS A/B	1	1	1	5	3	1	10	10	NC	
Bombeo Lodos Primarios a Tamizado de Lodos	PLV-710-002	POLIPASTO SALA BOMBEO LODOS PRIMARIOS C/D	1	1	1	5	3	1	10	10	NC	
Bombeo Lodos Primarios	PSH-710-001	INTERRUPTOR DE ALTA PRESIÓN BOMBEO LODOS	1	3	1	1	2	1	7	7	NC	

a Tamizado de Lodos		PRIMARIOS A TAMIZADO										
Bombeo Lodos Primarios a Tamizado de Lodos	PSH-710-002	INTERRUPTOR DE ALTA PRESIÓN BOMBEO LODOS PRIMARIOS A TAMIZADO	1	3	1	1	2	1	7	7	NC	
Bombeo Lodos Primarios a Tamizado de Lodos	PSH-710-003	INTERRUPTOR DE ALTA PRESIÓN BOMBEO LODOS PRIMARIOS A TAMIZADO	1	3	1	1	2	1	7	7	NC	
Bombeo Lodos Primarios a Tamizado de Lodos	PSH-710-004	INTERRUPTOR DE ALTA PRESIÓN BOMBEO LODOS PRIMARIOS A TAMIZADO	1	3	1	1	2	1	7	7	NC	
Bombeo Lodos Primarios a Tamizado de Lodos	PSH-710-005	INTERRUPTOR DE ALTA PRESIÓN BOMBEO LODOS PRIMARIOS A TAMIZADO	1	3	1	1	2	1	7	7	NC	
Bombeo Lodos Primarios a Tamizado de Lodos	PSH-710-006	INTERRUPTOR DE ALTA PRESIÓN BOMBEO LODOS PRIMARIOS A TAMIZADO	1	3	1	1	2	1	7	7	NC	
Tamizado de Lodos Primarios	FT-720-001	TRANSMISOR CAUDAL ENTRADA TAMIZ LODO - A	2	1	1	1	2	3	7	14	NC	
Tamizado de Lodos Primarios	FT-720-002	TRANSMISOR CAUDAL ENTRADA TAMIZ LODO - B	2	1	1	1	2	3	7	14	NC	
Tamizado de Lodos	FT-720-003	TRANSMISOR CAUDAL ENTRADA	2	1	1	1	2	3	7	14	NC	



Primarios		TAMIZ LODO - C										
Tamizado de Lodos Primarios	PLV-720-001	POLIPASTO SAL DE TAMICES	0	1	1	5	3	1	10	0	NC	
Tamizado de Lodos Primarios	PNL-720-001	PANEL LOCAL TAMIZ Y ESPESAMIENTO DE LODS	1	1	1	3	2	5	11	11	NC	
Tamizado de Lodos Primarios	TML-720-001	TAMIZ DE LODOS A	3	3	2	1	3	5	13	39	MC	
Tamizado de Lodos Primarios	TML-720-002	TAMIZ DE LODOS B	2	3	2	1	3	5	13	26	NC	
Tamizado de Lodos Primarios	TML-720-003	TAMIZ DE LODOS C	3	3	2	1	3	5	13	39	MC	
Tamizado de Lodos Primarios	TTR-720-001	TORNILLO TRANSPORTADOR LODOS TAMIZADOS	1	1	5	3	2	5	23	23	NC	
Espesamiento de Lodos	ELV-730-001	VÁLVULA AIRE LAVADO - A	1	1	5	2	4	1	16	16	NC	
Espesamiento de Lodos	ELV-730-002	VÁLVULA AIRE LAVADO - B	1	1	5	2	4	1	16	16	NC	
Espesamiento de Lodos	FT-730-001	TRANSMISOR CAUDAL ENTRADA ESPESADOR - A	2	1	1	1	2	3	7	14	NC	
Espesamiento de Lodos	FT-730-002	TRANSMISOR CAUDAL ENTRADA ESPESADOR - B	1	1	1	1	2	3	7	7	NC	
Espesamiento de Lodos	LT-730-001	TRANSMISOR NIVEL ESPESADOR - A	1	3	1	1	2	3	9	9	NC	

Espeamiento de Lodos	LT-730-002	TRANSMISOR NIVEL ESPESADOR - B	1	3	1	1	2	3	9	9	NC
Espeamiento de Lodos	PES-730-001	ESPESADOR LODOS - A	1	5	3	3	3	5	22	22	NC
Espeamiento de Lodos	PES-730-002	ESPESADOR LODOS - B	1	5	3	3	3	5	22	22	NC
Homogenización de Lodos y Bombeo a Digestión	AFE-740-001	AGITADOR CÁMARA LODOS ESPESADOS	1	5	2	5	4	5	24	24	NC
Homogenización de Lodos y Bombeo a Digestión	BTH-740-001	BOMBA LODOS HOMOG. A DIGESTIÓN - 1	2	1	3	1	2	3	9	18	NC
Homogenización de Lodos y Bombeo a Digestión	BTH-740-002	BOMBA LODOS HOMOG. A DIGESTIÓN - 2	1	1	3	1	2	3	9	9	NC
Homogenización de Lodos y Bombeo a Digestión	BTH-740-003	BOMBA LODOS HOMOG. A DIGESTIÓN - R	2	1	3	1	2	3	9	18	NC
Homogenización de Lodos y Bombeo a Digestión	LSH-740-001	INTERRUPTOR DE ALTO NIVEL TANQUE HOMOGENIZACIÓN	2	3	1	1	1	3	8	16	NC
Homogenización de Lodos y Bombeo a Digestión	LSL-740-001	INTERRUPTOR DE NIVEL BAJO HOMOGENIZACIÓN	2	1	1	1	1	3	6	12	NC

Homegenización de Lodos y Bombeo a Digestión	LT-740-001	TRANSMISOR NIVEL TANQUE HOMOGENIZACIÓN	3	3	1	1	1	3	8	24	MC
Homegenización de Lodos y Bombeo a Digestión	PSH-740-001	INTERRUPTOR DE ALTA PRESIÓN HOMOGENIZACIÓN DE LODOS	1	3	1	1	2	1	7	7	NC
Homegenización de Lodos y Bombeo a Digestión	PSH-740-002	INTERRUPTOR DE ALTA PRESIÓN HOMOGENIZACIÓN DE LODOS	1	3	1	1	2	1	7	7	NC
Homegenización de Lodos y Bombeo a Digestión	PSH-740-003	INTERRUPTOR DE ALTA PRESIÓN HOMOGENIZACIÓN DE LODOS	1	3	1	1	2	1	7	7	NC
Digestión de Lodos	ELV-810-001	ELECTROVÁLVULA	1	1	1	3	2	1	7	7	NC
Digestión de Lodos	ELV-810-002	ELECTROVÁLVULA	1	1	1	3	2	1	7	7	NC
Digestión de Lodos	FT-810-001	MEDIDOR CAUDAL ENTRADA FANGOS DIGESTOR - A	1	3	1	1	2	1	7	7	NC
Digestión de Lodos	FT-810-002	MEDIDOR CAUDAL ENTRADA FANGOS DIGESTOR - B	1	3	1	1	2	1	7	7	NC
Digestión de Lodos	FT-810-003	MEDIDOR CAUDAL ENTRADA DEL INTERCAMBIADOR DIGESTOR - A	2	1	1	1	2	1	5	10	NC
Digestión de Lodos	FT-810-004	MEDIDOR CAUDAL ENTRADA DEL	1	1	1	1	2	1	5	5	NC

		INTERCAMBIADOR DIGESTOR - B											
--	--	--------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

---

MODELO DE CRITICIDAD SEMICUANTITATIVO - MRC: MATRIZ DE CRITICIDAD POR RIESGO -

---

Método MCR diseñado para activos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR "Los Tajos", La Uruca, San José, Costa Rica.

---

Tomada de referencia al método MCR de Off Shore del área de Magallanes, elaborada por ENAP SIPETROL

---

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Factores de  
Consecuencias de  
Fallos

Sección	Procesos de tratamiento Primario	Equipo	FF	SH A	IP	B M	C M	I C	To tal	CTR	Estad o
Dosificación de Cloruro Férrico a Digestor	BDM-820-001	BOMBA DOSIFICADORA DE CLORURO FÉRRICO - A	1	3	1	1	2	1	7	7	NC
Dosificación de Cloruro Férrico a Digestor	BDM-820-002	BOMBA DOSIFICADORA DE CLORURO FÉRRICO - B	1	3	1	1	2	1	7	7	NC

Dosificación de Cloruro Férrico a Digestor	BDM-820-003	BOMBA DOSIFICADORA DE CLORURO FÉRRICO - R	1	3	1	1	2	1	7	7	NC
Dosificación de Cloruro Férrico a Digestor	LT-820-001	MEDIDOR NIVEL DEPÓSITO CLORURO FÉRRICO	2	3	1	1	2	1	7	14	NC
Calefacción de Lodos	BCH-830-001	BOMBA RECIRCULACIÓN LODOS A DIGESTORES - A	1	3	5	3	3	5	26	26	NC
Calefacción de Lodos	BCH-830-002	BOMBA RECIRCULACIÓN LODOS A DIGESTORES - B	1	3	5	3	3	5	26	26	NC
Calefacción de Lodos	BCH-830-003	BOMBA RECIRCULACIÓN AGUA CALDERA - A	1	3	5	5	3	3	34	34	MC
Calefacción de Lodos	BCH-830-004	BOMBA RECIRCULACIÓN AGUA CALDERA - B	1	3	5	5	3	3	34	34	MC
Calefacción de Lodos	CAG-830-001	PANEL CALDERA Y GRUPO GASÓLEO - A	3	1	2	3	3	3	13	39	MC
Calefacción de Lodos	CAG-830-002	PANEL CALDERA Y GRUPO GASÓLEO - B	3	1	2	3	3	3	13	39	MC
Calefacción de Lodos	EMG-830-001	ESTACIÓN DE MEDICIÓN DE GASES HOMEGENIZACIÓN	1	3	5	5	3	3	34	34	MC
Calefacción de Lodos	PH-830-001	ANALIZADOR DE PH Y TEMPERATURA DIGESTOR - A	1	1	5	1	2	3	11	11	NC
Calefacción de Lodos	PH-830-002	ANALIZADOR DE PH Y TEMPERATURA DIGESTOR - B	1	1	5	1	2	3	11	11	NC

Calefacción de Lodos	PLV-830-001	POLIPASTO EN SALA CALDERAS	3	1	1	5	3	1	10	30	MC
Calefacción de Lodos	PT-830-001	TRANSMISOR DE PRESION DIGESTOR - A	2	1	1	1	2	1	5	10	NC
Calefacción de Lodos	PT-830-002	TRANSMISOR DE PRESION DIGESTOR - B	2	1	1	1	2	1	5	10	NC
Calefacción de Lodos	QEB-830-001	QUEMADOR DE BIOGAS CALEFACCIÓN DE LODOS	1	5	3	5	4	3	27	27	NC
Calefacción de Lodos	QEB-830-002	QUEMADOR DE BIOGAS CALEFACCIÓN DE LODOS	1	5	3	5	4	3	27	27	NC
Calefacción de Lodos	TC-830-001	CONTROL DE TEMPERATURA CALEFACCIÓN DE LODOS	1	1	5	5	2	1	29	29	NC
Calefacción de Lodos	TC-830-003	CONTROL DE TEMPERATURA CALEFACCIÓN DE LODOS	1	1	5	5	2	1	29	29	NC
Calefacción de Lodos	TC-830-006	CONTROL DE TEMPERATURA CALEFACCIÓN DE LODOS	1	1	5	5	2	1	29	29	NC
Calefacción de Lodos	TC-830-007	CONTROL DE TEMPERATURA CALEFACCIÓN DE LODOS	1	1	5	5	2	1	29	29	NC
Calefacción de Lodos	TC-830-008	CONTROL DE TEMPERATURA CALEFACCIÓN DE LODOS	1	1	5	5	2	1	29	29	NC
Calefacción de Lodos	TT-830-001	MEDIDOR TEMPERATURA LODO ENT. INTERCAMB. - A	1	1	1	1	2	1	5	5	NC
Calefacción de Lodos	TT-830-001A	MEDIDOR TEMPERATURA LODO ENT. INTERCAMB. - A	1	1	1	1	2	1	5	5	NC

Calefacción de Lodos	TT-830-002	MEDIDOR TEMPERATURA LODO ENT. INTERCAMB. - B	1	1	1	1	2	1	5	5	NC
Calefacción de Lodos	TT-830-002A	MEDIDOR TEMPERATURA LODO ENT. INTERCAMB. - B	1	1	1	1	2	1	5	5	NC
Calefacción de Lodos	TT-830-003	MEDIDOR TEMPERATURA AGUA SAL. INTERCAMB. - A	1	1	1	1	2	1	5	5	NC
Calefacción de Lodos	TT-830-004	MEDIDOR TEMPERATURA AGUA SAL. INTERCAMB. - B	1	1	1	1	2	1	5	5	NC
Calefacción de Lodos	TT-830-005	MEDIDOR TEMPERATURA AGUA ENT. INTERCAMB. - A	1	1	1	1	2	1	5	5	NC
Calefacción de Lodos	TT-830-006	MEDIDOR TEMPERATURA AGUA ENT. INTERCAMB. - B	1	1	1	1	2	1	5	5	NC
Calefacción de Lodos	TT-830-007	MEDIDOR TEMPERATURA LODO SAL. INTERCAMB. - A	1	1	1	1	2	1	5	5	NC
Calefacción de Lodos	TT-830-008	MEDIDOR TEMPERATURA LODO SAL. INTERCAMB. - B	1	1	1	1	2	1	5	5	NC
Calderas	CCG-840-001	SOPLANTE GAS A CALDERAS - 1	3	1	1	1	3	3	8	24	MC
Calderas	CCG-840-002	SOPLANTE GAS A CALDERAS - 2	2	1	1	1	3	3	8	16	NC
Calderas	CCG-840-003	SOPLANTE GAS A CALDERAS - 3	2	1	1	1	3	3	8	16	NC
Calderas	EXG-840-001	VENTILADOR SALA SOPLANTES GAS	1	1	1	3	1	1	6	6	NC

Calderas	FT-840-001	MEDIDOR CAUDAL GAS A SOPLANTE CALDERAS - 1	1	1	1	1	2	1	5	5	NC
Calderas	FT-840-002	MEDIDOR CAUDAL GAS A SOPLANTE CALDERAS - 2	1	1	1	1	2	1	5	5	NC
Calderas	FT-840-003	MEDIDOR CAUDAL GAS A SOPLANTE CALDERAS - 3	1	1	1	1	2	1	5	5	NC
Calderas	CPG-850-001	SOPLANTE GAS AGITACIÓN CAÑAS - 1	1	1	3	3	4	3	17	17	NC
Calderas	CPG-850-002	SOPLANTE GAS AGITACIÓN CAÑAS - 2	1	1	3	3	4	3	17	17	NC
Calderas	CPG-850-003	SOPLANTE GAS AGITACIÓN CAÑAS - 3	1	1	3	3	4	3	17	17	NC
Calderas	FSL-850-001	MEDIDOR DE FLUJO BAJO COMPRESORES DE GAS A DIGESTORES	1	1	1	1	2	1	5	5	NC
Calderas	FSL-850-002	MEDIDOR DE FLUJO BAJO COMPRESORES DE GAS A DIGESTORES	1	1	1	1	2	1	5	5	NC
Calderas	FSL-850-003	MEDIDOR DE FLUJO BAJO COMPRESORES DE GAS A DIGESTORES	1	1	1	1	2	1	5	5	NC
Calderas	FT-850-001	MEDIDOR CAUDAL GAS A DIG. DE SOPLANTE - 1	1	1	1	1	2	1	5	5	NC
Calderas	FT-850-002	MEDIDOR CAUDAL GAS A DIG. DE SOPLANTE - 2	1	1	1	1	2	1	5	5	NC
Calderas	FT-850-003	MEDIDOR CAUDAL GAS A DIG. DE SOPLANTE - 3	1	1	1	1	2	1	5	5	NC
Calderas	LSL-850-001	INTERRUPTOR DE NIVEL BAJO COMPRESORES DE GAS	1	1	1	5	3	1	10	10	NC
Calderas	LSL-850-	INTERRUPTOR DE NIVEL BAJO COMPRESORES DE	1	1	1	5	3	1	10	10	NC



	002	GAS										
Calderas	LSL-850-003	INTERRUPTOR DE NIVEL BAJO COMPRESORES DE GAS	1	1	1	5	3	1	10	10	NC	
Calderas	PLV-850-001	POLIPASTO EN SALA SOPLANTES DE AGITACIÓN	1	1	1	5	3	1	10	10	NC	
Calderas	PSH-850-001	INTERRUPTOR DE ALTA PRESIÓN GAS DIGESTIÓN SOPLANTE - 1	1	1	1	1	2	1	5	5	NC	
Calderas	PSH-850-002	INTERRUPTOR DE ALTA PRESIÓN GAS DIGESTIÓN SOPLANTE - 2	1	1	1	1	2	1	5	5	NC	
Calderas	PSH-850-003	INTERRUPTOR DE ALTA PRESIÓN GAS DIGESTIÓN SOPLANTE - 3	1	1	1	1	2	1	5	5	NC	
Calderas	PSL-850-001	INTERRUPTOR DE BAJA PRESIÓN COMPRESORES DE GAS A DIGESTORES	1	1	1	1	2	1	5	5	NC	
Calderas	PSL-850-002	INTERRUPTOR DE BAJA PRESIÓN COMPRESORES DE GAS A DIGESTORES	1	1	1	1	2	1	5	5	NC	
Calderas	PSL-850-003	INTERRUPTOR DE BAJA PRESIÓN COMPRESORES DE GAS A DIGESTORES	1	1	1	1	2	1	5	5	NC	
Calderas	TSH-850-001	INTERRUPTOR DE ALTA TEMPERATURA COMPRESORES DE GAS A DISGESTORES	1	1	1	1	2	1	5	5	NC	
Calderas	TSH-850-002	INTERRUPTOR DE ALTA TEMPERATURA COMPRESORES DE GAS A DISGESTORES	1	1	1	1	2	1	5	5	NC	
Calderas	TSH-850-	INTERRUPTOR DE ALTA TEMPERATURA	1	1	1	1	2	1	5	5	NC	

	003	COMPRESORES DE GAS A DISGESTORES										
Calderas	TSH-850-004	INTERRUPTOR DE ALTA TEMPERATURA COMPRESORES DE GAS A DISGESTORES	1	1	1	1	2	1	5	5	NC	
Calderas	TSH-850-005	INTERRUPTOR DE ALTA TEMPERATURA COMPRESORES DE GAS A DISGESTORES	1	1	1	1	2	1	5	5	NC	
Calderas	TSH-850-006	INTERRUPTOR DE ALTA TEMPERATURA COMPRESORES DE GAS A DISGESTORES	1	1	1	1	2	1	5	5	NC	
Calderas	FT-860-001	MEDIDOR CAUDAL GAS DE DIGESTOR - A	1	1	2	1	2	3	8	8	NC	
Calderas	FT-860-002	MEDIDOR CAUDAL GAS DE DIGESTOR - B	1	1	2	1	2	3	8	8	NC	
Gasómetro y Quemador de Gas (Antorcha)	FT-870-001	MEDIDOR CAUDAL GAS A GASOMETRO -A	1	1	1	1	2	1	5	5	NC	
Gasómetro y Quemador de Gas (Antorcha)	FT-870-002	MEDIDOR CAUDAL GAS A GASOMETRO -B	1	1	1	1	2	1	5	5	NC	
Gasómetro y Quemador de Gas (Antorcha)	LT-870-001	MEDIDOR NIVEL GASÓMETRO	1	1	1	3	3	3	10	10	NC	

Gasómetro y Quemador de Gas (Antorcha)	LT-870-002	MEDIDOR NIVEL GASÓMETRO	1	1	1	3	3	3	10	10	NC
Gasómetro y Quemador de Gas (Antorcha)	QEB-870-001	QUEMADOR DE BIOGAS CALEFACCIÓN DE LODOS	2	1	3	3	2	3	15	30	NC
Gasómetro y Quemador de Gas (Antorcha)	SGA-870-001	SOPLANTE GASÓMETRO - A	1	1	1	1	2	3	7	7	NC
Gasómetro y Quemador de Gas (Antorcha)	SGA-870-002	SOPLANTE GASÓMETRO - B	1	1	1	1	2	3	7	7	NC
Agitación Tampon	AFE-910-001	AGITADOR DEPÓSITO TAMPÓN - 1	4	3	5	3	3	5	26	104	C
Agitación Tampon	AFE-910-002	AGITADOR DEPÓSITO TAMPÓN - 2	4	3	5	3	3	5	26	104	C
Agitación Tampon	AFE-910-003	AGITADOR DEPÓSITO TAMPÓN - 3	4	3	5	3	3	5	26	104	C
Agitación Tampon	LSH-910-001	INTERRUPTOR DE ALTO NIVEL DEPÓSITO TAMPON	1	3	1	1	1	3	8	8	NC

Agitación Tampon	LSL-910-001	INTERRUPTOR DE NIVEL BAJO AGITACIÓN TAMPON	1	3	1	1	1	3	8	8	NC
Agitación Tampon	LSLL-910-001	INTERRUPTOR DE NIVEL MUY BAJO AGITACIÓN TAMPON	1	3	1	1	1	3	8	8	NC
Agitación Tampon	LT-910-001	MEDIDOR NIVEL DEPÓSITO TAMPÓN	1	3	1	1	2	3	9	9	NC
Bombeo Lodos a Centrífuga	BTH-920-001	BOMBA LODOS A DESHIDRATACIÓN - A	1	3	3	1	2	3	11	11	NC
Bombeo Lodos a Centrífuga	BTH-920-002	BOMBA LODOS A DESHIDRATACIÓN - B	1	3	3	1	2	3	11	11	NC
Bombeo Lodos a Centrífuga	BTH-920-003	BOMBA LODOS A DESHIDRATACIÓN - C	1	3	3	1	2	3	11	11	NC
Bombeo Lodos a Centrífuga	FT-920-001	MEDIDOR CAUDAL LODOS A DESHIDRATACIÓN - A	2	1	1	1	2	1	5	10	NC
Bombeo Lodos a Centrífuga	FT-920-002	MEDIDOR CAUDAL LODOS A DESHIDRATACIÓN - B	2	1	1	1	2	1	5	10	NC
Bombeo Lodos a Centrífuga	FT-920-003	MEDIDOR CAUDAL LODOS A DESHIDRATACIÓN - C	2	1	1	1	2	1	5	10	NC
Bombeo Lodos a Centrífuga	PSH-920-001	INTERRUPTOR DE ALTA PRESIÓN BOMBEO DE LODOS A CENTRÍFUGAS	1	1	1	1	2	1	5	5	NC
Bombeo Lodos a Centrífuga	PSH-920-002	INTERRUPTOR DE ALTA PRESIÓN BOMBEO DE LODOS A CENTRÍFUGAS	1	1	1	1	2	1	5	5	NC

ga												
Bombeo Lodos a Centrífuga	PSH- 920- 003	INTERRUPTOR DE ALTA PRESIÓN BOMBEO DE LODOS A CENTRÍFUGAS	1	1	1	1	2	1	5	5	NC	
Bombeo de Polímero a Centrífuga	BTH- 930- 001	BOMBA DOSIFICADORA POLY - A	3	1	1	1	2	3	7	21	MC	
Bombeo de Polímero a Centrífuga	BTH- 930- 002	BOMBA DOSIFICADORA POLY - B	2	1	1	1	2	3	7	14	NC	
Bombeo de Polímero a Centrífuga	BTH- 930- 003	BOMBA DOSIFICADORA POLY - C	2	1	1	1	2	3	7	14	NC	
Bombeo de Polímero a Centrífuga	ELV- 930- 001	VÁLVULA DILUCIÓN LODOS A CENTRÍFUGA - A	1	1	1	1	1	1	4	4	NC	
Bombeo de Polímero a Centrífuga	ELV- 930- 002	VÁLVULA DILUCIÓN LODOS A CENTRÍFUGA - B	1	1	1	1	1	1	4	4	NC	
Bombeo de Polímero a Centrífuga	ELV- 930- 003	VÁLVULA DILUCIÓN LODOS A CENTRÍFUGA - C	1	1	1	1	1	1	4	4	NC	

Bombeo de Polímero a Centrífugas	PSH-930-001	INTERRUPTOR DE ALTA PRESIÓN BOMBEO DE POLÍMERO A CENTRÍFUGAS	1	1	1	1	2	1	5	5	NC
Bombeo de Polímero a Centrífugas	PSH-930-002	INTERRUPTOR DE ALTA PRESIÓN BOMBEO DE POLÍMERO A CENTRÍFUGAS	1	1	1	1	2	1	5	5	NC
Bombeo de Polímero a Centrífugas	PSH-930-003	INTERRUPTOR DE ALTA PRESIÓN BOMBEO DE POLÍMERO A CENTRÍFUGAS	1	1	1	1	2	1	5	5	NC
PolyPack	POA-940-001	POLIPACK AUTOMÁTICO	1	1	1	1	2	5	9	9	NC
PolyPack	POA-940-002	POLIPACK AUTOMÁTICO	1	1	1	1	2	5	9	9	NC
Centrífugas	CTL-950-001	PANEL CENTRÍFUGA - A (Alimentacion segura 120Vac)	1	3	1	5	4	5	17	17	NC
Centrífugas	CTL-950-002	PANEL CENTRÍFUGA - B (Alimentacion segura 120Vac)	2	3	1	5	4	5	17	34	NC
Centrífugas	CTL-950-003	PANEL CENTRÍFUGA - C (Alimentacion segura 120Vac)	2	3	1	5	4	5	17	34	NC
Centrífugas	ELV-950-001	ELECTROVÁLVULA	1	1	1	1	1	1	4	4	NC
Centrífugas	ELV-950-002	ELECTROVÁLVULA	1	1	1	1	1	1	4	4	NC

Centrífuga	ELV-950-003	ELECTROVÁLVULA	1	1	1	1	1	1	4	4	NC
Centrífuga	PLV-950-001	POLIPASTO EN SALA DESHIDRATACIÓN N1	1	1	1	3	3	1	8	8	NC
Centrífuga	PLV-950-002	POLIPASTO EN SALA DESHIDRATACIÓN N2	1	1	1	3	3	1	8	8	NC
Centrífuga	TTR-950-001	TORNILLO RECOGEDOR CENTRÍFUGAS	2	3	5	5	4	5	37	74	C
Centrífuga	TTR-950-002	TORNILLO ELEVADOR A SILO	2	4	5	5	4	5	38	76	C
Silos de Almacenamiento	LT-960-001	MEDIDOR NIVEL SILO ALMACENAMIENTO	1	1	5	5	3	3	32	32	MC
Silos de Almacenamiento	LT-960-002	MEDIDOR NIVEL SILO ALMACENAMIENTO	1	1	5	5	3	3	32	32	MC
Silos de Almacenamiento	TTR-960-001	TORNILLO CUBIERTA	1	3	5	5	4	5	37	37	MC
Silos de Almacenamiento	TTR-960-002	TORNILLO DESCARGA A SILO A y B	1	3	5	5	4	5	37	37	MC
Silos de Almacenamiento	TTR-960-003	TORNILLO EXTRACTOR SILO - A1	1	3	5	5	4	5	37	37	MC
Silos de Almacenamiento	TTR-960-004	TORNILLO EXTRACTOR SILO - B1	1	3	5	5	4	5	37	37	MC
Silos de Almacenamiento	TTR-960-005	TORNILLO EXTRACTOR SILO - A2	1	3	5	5	4	5	37	37	MC

Silos de Almacenamiento	TTR-960-006	TORNILLO EXTRACTOR SILO - B2	1	3	5	5	4	5	37	37	MC
Silos de Almacenamiento	VCM-960-001	COMPUERTA DESCARGA A SILO - A	1	3	5	5	3	5	36	36	MC
Silos de Almacenamiento	VCM-960-004	COMPUERTA SILO - A1	2	3	5	5	3	3	34	68	C
Silos de Almacenamiento	VCM-960-005	COMPUERTA SILO - A2	2	3	5	5	3	3	34	68	C
Silos de Almacenamiento	VCM-960-006	COMPUERTA SILO - B1	2	3	5	5	3	3	34	68	C
Silos de Almacenamiento	VCM-960-007	COMPUERTA SILO - B2	2	3	5	5	3	3	34	68	C
SERVICIOS AUXILIARES	FMA-510-001	FILTRO MALLA DE AGUA AUTOLIMPIANTE	2	1	5	5	3	3	32	64	C
SERVICIOS AUXILIARES	GPA-510-001	GRUPO DE PRESIÓN AGUA DE SERVICIOS	1	3	2	1	3	3	11	11	NC
SERVICIOS AUXILIARES	CAI-520-001	COMPRESOR DE AIRE - SERVICIOS AUXILIARES 1	1	1	2	1	3	3	9	9	NC
SERVICIOS AUXILIARES	CAI-520-002	COMPRESOR DE AIRE - SERVICIOS AUXILIARES 2	2	1	2	1	3	3	9	18	NC
SERVICIOS AUXILIARES	INP-520-001	REFRIGERADOR & SECADOR AIRE SERVICIOS GENERALES	1	1	1	1	3	3	8	8	NC



SERVICIOS AUXILIARES	PSL-520-001	INTERRUPTOR DE BAJA PRESIÓN COMPRESORES AIRE DE SERVICIOS AUXILIARES	1	1	1	5	1	1	8	8	NC
Depósito de Vacíos	BCS-530-001	BOMBA VACIADOS - 1	4	5	5	3	2	2	24	96	C
Depósito de Vacíos	BCS-530-002	BOMBA VACIADOS - 2	4	5	5	3	2	2	24	96	C
Depósito de Vacíos	BCS-530-003	BOMBA VACIADOS - 3	2	5	5	1	2	2	14	28	NC
Depósito de Vacíos	BCS-530-004	BOMBA VACIADOS - 4	4	5	5	3	2	2	24	96	C
Depósito de Vacíos	LSH-530-002	INTERRUPTOR DE ALTO NIVEL DEPÓSITO INTERMEDIO DE VACIADOS	4	3	4	5	1	3	27	108	C
Depósito de Vacíos	LSHH-530-001	INTERRUPTOR DE MUY ALTO NIVEL DEPÓSITO INTERMEDIO DE VACIADOS	4	3	4	5	1	3	27	108	C
Depósito de Vacíos	LSL-530-003	INTERRUPTOR DE NIVEL BAJO DEPÓSITO INTERMEDIO DE VACIADOS	4	3	4	5	1	3	27	108	C
Depósito de Vacíos	LSLL-530-001	INTERRUPTOR DE NIVEL MUY BAJO DEPÓSITO INTERMEDIO DE VACIADOS	4	3	4	5	1	3	27	108	C
Desodorización Química	AVM-610-001	AGITADOR DESODORIZACIÓN QUÍMICA	1	1	1	3	3	3	10	10	NC

Desodorización Química	BCH-610-001	BOMBA DESODORIZACIÓN QUÍMICA	4	4	3	1	3	3	13	52	MC
Desodorización Química	BCH-610-002	BOMBA DESODORIZACIÓN QUÍMICA	3	3	3	1	3	3	12	36	MC
Desodorización Química	BCH-610-003	BOMBA DESODORIZACIÓN QUÍMICA	2	3	3	1	3	3	12	24	NC
Desodorización Química	BDM-610-001	BOMBA DOSIFICADORA ÁCIDO SULFÚRICO	1	3	3	3	2	3	17	17	NC
Desodorización Química	BDM-610-002	BOMBA DOSIFICADORA HIDRÓXIDO SÓDICO	1	3	3	3	2	3	17	17	NC
Desodorización Química	BDM-610-003	BOMBA DOSIFICADORA HIPOCLORITO SÓDICO	1	3	3	3	2	3	17	17	NC
Desodorización Química	ELV-610-001	ELECTROVÁLVULA NORMALMENTE CERRADA	1	1	1	1	1	1	4	4	NC
Desodorización Química	ELV-610-002	ELECTROVÁLVULA NORMALMENTE CERRADA	1	1	1	1	1	1	4	4	NC
Desodorización Química	FT-610-001	MEDIDOR CAUDAL DESODORIZACIÓN QUÍMICA	1	1	1	1	2	1	5	5	NC
Desodorización Química	FT-610-002	MEDIDOR CAUDAL DESODORIZACIÓN QUÍMICA	1	1	1	1	2	1	5	5	NC
Desodorización Química	LSH-610-001	NIVEL PREVIO DESODORIZACIÓN QUÍMICA	2	3	1	1	1	3	8	16	NC
Desodorización Química	LSH-610-002	NIVEL PREVIO DESODORIZACIÓN QUÍMICA	2	3	1	1	1	3	8	16	NC

Desodorización Química	LSH-610-003	NIVEL PREVIO DESODORIZACIÓN QUÍMICA	2	3	1	1	1	3	8	16	NC
Desodorización Química	LSH-610-004	NIVEL PREVIO DESODORIZACIÓN QUÍMICA	2	3	1	1	1	3	8	16	NC
Desodorización Química	LSH-610-005	NIVEL PREVIO DESODORIZACIÓN QUÍMICA	2	3	1	1	1	3	8	16	NC
Desodorización Química	LSL-610-001	INTERRUPTOR DE NIVEL BAJO DESODORIZACIÓN QUÍMICA	2	3	1	1	1	1	6	12	NC
Desodorización Química	LSL-610-002	INTERRUPTOR DE NIVEL BAJO DESODORIZACIÓN QUÍMICA	2	3	1	1	1	1	6	12	NC
Desodorización Química	LSL-610-003	INTERRUPTOR DE NIVEL BAJO DESODORIZACIÓN QUÍMICA	2	3	1	1	1	1	6	12	NC
Desodorización Química	LSL-610-004	INTERRUPTOR DE NIVEL BAJO DESODORIZACIÓN QUÍMICA	2	3	1	1	1	1	6	12	NC
Desodorización Química	LSL-610-005	INTERRUPTOR DE NIVEL BAJO DESODORIZACIÓN QUÍMICA	2	3	1	1	1	1	6	12	NC
Desodorización Química	LSLL-610-004	INTERRUPTOR DE NIVEL MUY BAJO DESODORIZACIÓN QUÍMICA	2	1	1	1	1	1	4	8	NC
Desodorización Química	LSLL-610-005	INTERRUPTOR DE NIVEL MUY BAJO DESODORIZACIÓN QUÍMICA	2	1	1	1	1	1	4	8	NC
Desodorización Química	PH-610-001	ANALIZADOR DE PH DESODORIZACIÓN QUÍMICA	1	3	2	1	2	3	10	10	NC

Desodorización Química	PH-610-002	ANALIZADOR DE PH DESODORIZACIÓN QUÍMICA	1	3	2	1	2	3	10	10	NC
Desodorización Química	RX-610-001	DISPOSITIVO DE RADIACIÓN DESODORIZACIÓN QUÍMICA (MEDIDOR DE REDOX)	1	3	2	1	2	3	10	10	NC
Desodorización Química	VET-610-001	VENTILADOR DESODORIZACIÓN	4	3	5	5	4	5	37	148	C
Desodorización Biológica	BCH-620-001	BOMBA DESODORIZACIÓN BIOLÓGICA	1	3	1	3	2	3	11	11	NC
Desodorización Biológica	ELV-620-001	ELECTROVÁLVULA NORMALMENTE CERRADA	1	3	1	1	1	1	6	6	NC
Desodorización Biológica	ELV-620-002	ELECTROVÁLVULA NORMALMENTE CERRADA	1	3	1	1	1	1	6	6	NC
Desodorización Biológica	FT-620-003	MEDIDOR CAUDAL RECIRCULACIÓN TORRE HUMECTACIÓN	1	1	1	1	2	1	5	5	NC
Desodorización Biológica	LSH-620-001	NIVEL PREVIO DESODORIZACIÓN BIOLÓGICA	1	1	1	1	1	1	4	4	NC
Desodorización Biológica	LSL-620-001	INTERRUPTOR DE NIVEL BAJO DESODORIZACIÓN BIOLÓGICA	1	1	1	1	1	1	4	4	NC
Desodorización Biológica	LSLL-620-001	INTERRUPTOR DE NIVEL MUY BAJO DESODORIZACIÓN BIOLÓGICA	1	1	1	1	1	1	4	4	NC

Desodorización Biológica	PH-620-001	ANALIZADOR DE PH COLUMNA HUMECTACIÓN (2 Reles/4-20mA)	1	3	1	1	2	3	9	9	NC
Motor Generador / Compresor de Gas	CCG-880-001	COMPRESOR GAS A MOTO GENERADOR	1	1	3	3	3	5	18	18	NC
Motor Generador / Compresor de Gas	FT-880-001	MEDIDOR CAUDAL RECUPERACIÓN DE ENERGÍA	1	1	1	1	2	3	7	7	NC
Motor Generador / Compresor de Gas	GEE-880-001	GRUPO ELECTRÓGENO DE EMERGENCIA - MOTOR GENERADOR / COMPRESOR DE GAS	1	1	5	5	4	5	35	35	MC
Motor Generador / Compresor de Gas	MTG-880-001	MOTOR GENERADOR GUASCOR	1	1	5	5	4	5	35	35	MC

(Elaboración propia, Excel 2019)

## **E. TRICOM: Planes de Mantenimiento**



DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO  
Reporte del Programa de Mantenimiento Preventivo

Programa para: Todos

Código	Sub-Punto	Frec	Tiempo	Fecha Mto.	# Ptos	Método	Lubricante	Paro	Tipo Mto.
<b>Sección: 12</b>		<b>DESODORIZACION</b>							
<b>Area: 610</b>		<b>Desodorización Química</b>							
<b>Equipo: VET-001</b>		<b>VENTILADOR DESODORIZACIÓ</b>							
<b>Parte: HS-610-001</b>		<b>Botonera Manual / 2 Contactos</b>							
<b>Punto: INS-01</b>		<b>MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTOS</b>							
INS-01	Hacer pruebas, inspección visual,...	180	40.00	11/01/202...		Riesgo Medio		N	ELN
LIM-01	Limpieza de instrumento	30	30.00	16/08/201...		Riesgo Medio		S	ELN
PRE...	Prueba de Funcionamiento	180	30.00	11/01/202...		Riesgo Medio		S	ELN
<b>Parte: HS-610-002</b>		<b>Botonera Manual / 1 Contactos</b>							
<b>Punto: INS-01</b>		<b>MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTOS</b>							
INS-01	Hacer pruebas, inspección visual,...	180	40.00	11/01/202...		Riesgo Medio		N	ELN
LIM-01	Limpieza de instrumento	30	30.00	16/08/201...		Riesgo Medio		S	ELN
PRE...	Prueba de Funcionamiento	180	30.00	11/01/202...		Riesgo Medio		S	ELN
<b>Parte: MOT-610-001</b>		<b>Motor Eléctrico Externo</b>							
<b>Punto: MOT-01</b>		<b>MANTENIMIENTO DE MOTORES EXTERNOS</b>							
ME...	Megueo de Motor	360	180.0	09/07/202...		Riesgo Medio		N	ELE
PIN-01	Pintura y barnizado de Motor	720	200.0	04/07/202...		Riesgo Medio		S	ELE
RES...	Resoqe de Conexiones	180	60.00	11/01/202...		Riesgo Medio		S	ELE
ROD...	Cambio de Rodamientos	720	360.0	04/07/202...		Riesgo Alto		N	MEC
<b>Parte: VET-610-001</b>		<b>Ventilador</b>							
<b>Punto: VEN-01</b>		<b>MANTENIMIENTO VENTILADORES / EXTRACTORES</b>							
ELE...	Comprobación de mediciones...	180	240.0	11/01/202...		Riesgo Medio		N	MEC
ELE...	Verificación de cables en la caja de...	180	30.00	11/01/202...		Riesgo Medio		N	ELE
LIM-01	Limpieza de cuarto en general	180	240.0	11/01/202...		Riesgo Medio		N	MEC
LUB...	Lubricación de Motor y limpieza	30	30.00	21/08/201...		Riesgo Medio		N	MEC
LUB...	Lubricación de Munoneras y limpieza	30	30.00	21/08/201...		Riesgo Alto		S	MEC
PRE...	Mantenimiento Predictivo	360	60.00	09/07/202...		Riesgo Medio		N	PRD
SCD...	Pruebas en campo coordinadas con...	180	30.00	11/01/202...				N	ELN
VET...	Cambio de Fajas	360	180.0	09/07/202...		Riesgo Alto		S	MEC

Figura 45. Plan de Mantenimiento: Ventilador Desodorización, PTAR Los Tajos.

(Elaboración propia, Tricom 2019)



DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO  
Reporte del Programa de Mantenimiento Preventivo

Programa para: Todos

<b>Sección:</b> 10		DESHIDRATAACION							
<b>Area:</b> 960		Silos de Almacenamiento							
<b>Equipo:</b> VCM-001		COMPUERTA DESCARGA A SILO - A							
<b>Parte:</b> HS-960-007		Botonera Manual / 2 Contactos							
<b>Punto:</b> JNS-01		MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTOS							
Código	Sub-Punto	Frec	Tiempo	Fecha Mto.	# Ptos	Método	Lubricante	Paro Tipo	Mto.
INS-01	Hacer pruebas, inspección visual...	180	40.00	11/01/202 ...		Riesgo Medio		N	ELN
LIM-01	Limpieza de instrumento	30	30.00	17/08/201 ...		Riesgo Medio		S	ELN
PRE...	Prueba de Funcionamiento	180	30.00	11/01/202 ...		Riesgo Medio		S	ELN
<b>Parte:</b> VCM-960-001		Válvula Compuerta Motorizada							
<b>Punto:</b> VCM-01		MANTENIMIENTO VÁLVULAS COMPUERTAS MOTORIZADAS							
Código	Sub-Punto	Frec	Tiempo	Fecha Mto.	# Ptos	Método	Lubricante	Paro Tipo	Mto.
ELE...	Comprobación de mediciones...	180	40.00	11/01/202 ...		Riesgo Medio		S	ELN
ENG...	Engrase-guillotina	180	40.00	11/01/202 ...		Riesgo Medio		S	MEC
ENG...	Sustitución de grasa	3650	0.00	12/07/202 ...		Riesgo Bajo		N	MEC
LUB...	Lubricación-actuador	180	40.00	11/01/202 ...		Riesgo Medio		N	MEC
SCD...	Probar Protecciones y...	180	40.00	11/01/202 ...		Riesgo Medio		S	ELN
VCM...	Apriete de tornillos-actuador	180	30.00	11/01/202 ...		Riesgo Medio		N	ELE
VCM...	Maniobra de funcionamiento-actuador	180	30.00	11/01/202 ...		Riesgo Alto		S	ELE

Figura 46. Plan de Mantenimiento: Compuerta Descarga a Silo, PTAR Los Tajos.

(Elaboración propia, Tricom 2019)



DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO  
Reporte del Programa de Mantenimiento Preventivo

Programa para: Todos

<b>Sección:</b> 01		DESBASTE							
<b>Area:</b> 120		Desbaste							
<b>Equipo:</b> EMG-001		ESTACIÓN DE MEDICIÓN DE GASES DESBASTE							
<b>Parte:</b> EMG-120-001		Estación de Medición de Gases							
<b>Punto:</b> EMG-01		MANTENIMIENTO ESTACIÓN DE MEDICIÓN DE GASES							
Código	Sub-Punto	Frec	Tiempo	Fecha Mto.	# Ptos	Método	Lubricante	Paro Tipo	Mto.
EM...	Accionamiento de alarmas	180	30.00	11/01/202 ...		Riesgo Bajo		N	ELN
LIM-01	Limpieza Externa e Interna de la...	180	40.00	11/01/202 ...		Riesgo Bajo		N	ELN
MEC...	Resocado de tornillería	90	30.00	13/10/201 ...		Riesgo Medio		N	ELN

Figura 47. Plan de Mantenimiento: Estación de Medición de Gases, PTAR Los Tajos.

(Elaboración propia, Tricom 2019)





DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO  
Reporte del Programa de Mantenimiento Preventivo

Programa para: Todos

Código	Sub-Punto	Frec	Tiempo	Fecha Mto.	# Ptos	Método	Lubricante	Paro	Tipo Mto.
<b>Sección: 10</b>		<b>DESHIDRACION</b>							
<b>Area: 950</b>		<b>Centrífugas</b>							
<b>Equipo: TTR-001</b>		<b>TORNILLO RECOGEDOR CENTRÍFUGAS</b>							
<b>Parte: HS-950-001</b>		<b>Botonera Manual / 2 Contactos</b>							
<b>Punto: INS-01</b>		<b>MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTOS</b>							
INS-01	Hacer pruebas, inspección visual,...	180	40.00	11/01/202...		Riesgo Medio		N	ELN
LIM-01	Limpieza de instrumento	30	30.00	15/08/201...		Riesgo Bajo		S	ELN
PRE...	Prueba de Funcionamiento	180	30.00	11/01/202...		Riesgo Bajo		S	ELN
<b>Parte: MOT-950-001</b>		<b>Motor Eléctrico Externo</b>							
<b>Punto: MOT-01</b>		<b>MANTENIMIENTO DE MOTORES EXTERNOS</b>							
ME...	Megueo de Motor	360	180.0	09/07/202...		Riesgo Medio		N	ELE
PIN-01	Pintura y barnizado de Motor	720	200.0	04/07/202...		Riesgo Medio		S	ELE
RES...	Resoque de Conexiones	180	60.00	11/01/202...		Riesgo Medio		S	ELE
ROD...	Cambio de Rodamientos	720	360.0	04/07/202...		Riesgo Alto		N	MEC
<b>Parte: RED-950-001</b>		<b>Moto-Reductor</b>							
<b>Punto: RED-01</b>		<b>MANTENIMIENTO REDUCTORES</b>							
CAM...	Cambiar aceite de reductora (3 Años)	1080	60.00	29/06/202...		Riesgo Medio	GRASA-LGHB	S	MEC
REV...	Controlar nivel de aceite en caja,...	30	40.00	14/08/201...		Riesgo Bajo	GRASA-LGHB	N	MEC
<b>Parte: TTR-950-001</b>		<b>Tornillo Recogedor Centrífugas</b>							
<b>Punto: TRA-01</b>		<b>MANTENIMINETO DE TORNILLO TRANSPORTADOR</b>							
ELE...	Comprobación de mediciones...	7	30.00	05/08/201...		Riesgo Alto		N	ELE
SCD...	Probar Protecciones y...	180	30.00	11/01/202...		Riesgo Alto		N	ELN
TRA...	Comprobación visual desgaste de...	360	40.00	09/07/202...		Riesgo Medio		N	MEC
TRA...	Comprobar nivel de aceite o fugas	360	40.00	09/07/202...		Riesgo Bajo		N	MEC
TRA...	Ajuste cajas prensaestopas mediante...	360	60.00	09/07/202...		Riesgo Medio		N	MEC

Figura 48. Plan de Mantenimiento: Tornillo Recogedor Centrífugas, PTAR Los Tajos.

(Elaboración propia, Tricom 2019)



DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO  
Reporte del Programa de Mantenimiento Preventivo

Programa para: Todos

<b>Sección:</b> 01		DESBASTE							
<b>Area:</b> 110		Obra de Llegada/Pozo de Gruesos							
<b>Equipo:</b> GRV-001		GRÚA DESARENADO MOTOR PRINCIPAL 5T							
<b>Parte:</b> HS-110-001		Botonera Manual / 3 Contactos: 1: N.C. 2: N.O.							
<b>Punto:</b> INS-01		MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTOS							
Código	Sub-Punto	Frec	Tiempo	Fecha Mto.	# Ptos	Método	Lubricante	Paro	Tipo Mto.
INS-01	Hacer pruebas, inspección visual,...	180	40.00	11/01/202...		Riesgo Medio		N	ELN
LIM-02	Limpieza de instrumento	30	20.00	14/08/201...		Riesgo Medio		N	ELN
PRE...	Prueba de Funcionamiento	180	30.00	11/01/202...		Riesgo Bajo		S	ELN
<b>Parte:</b> MOT-110-001		Motor Eléctrico Externo							
<b>Punto:</b> MOT-01		MANTENIMIENTO DE MOTORES EXTERNOS							
Código	Sub-Punto	Frec	Tiempo	Fecha Mto.	# Ptos	Método	Lubricante	Paro	Tipo Mto.
ME...	Megueo de Motor	360	180.0	09/07/202...		Riesgo Medio		N	ELE
PIN-01	Pintura y barnizado de Motor	720	200.0	04/07/202...		Riesgo Medio		S	ELE
RES...	Resoque de Conexiones	180	60.00	11/01/202...		Riesgo Medio		S	ELE
ROD...	Cambio de Rodamientos	720	360.0	04/07/202...		Riesgo Alto		N	MEC
<b>Parte:</b> PLV-001		Polipasto Viajero Grúa Desbaste							
<b>Punto:</b> POL-01		MANTENIMIENTO POLIPASTOS ELÉCTRICOS / PUENTES GRÚA							
Código	Sub-Punto	Frec	Tiempo	Fecha Mto.	# Ptos	Método	Lubricante	Paro	Tipo Mto.
ELE...	Comprobación de instalacion...	360	30.00	09/07/202...		Riesgo Alto		S	ELE
ELE...	Comprobación de mediciones...	180	40.00	11/01/202...		Riesgo Alto		N	ELE
GEN...	Soltar carcasa de freno, comprobar...	180	120.0	11/01/202...		Riesgo Alto		S	MEC
ME...	Megueo de Motor	360	120.0	09/07/202...		Riesgo Alto		S	ELE
PLV-01	Sustituir disco freno cuando espesor...	720	360.0	04/07/202...		Riesgo Alto		S	MEC
PLV-02	Desmonte y revision en profundidad	2520	360.0	08/06/202...		Riesgo Alto		S	MEC
PLV-03	Engrase de engranajes abiertos	180	0.00	11/01/202...		Riesgo Alto		S	MEC
PLV-04	Engrase y revision general de todos...	180	90.00	11/01/202...				S	MEC
PLV-05	Lubricar con grasa mineral fluida...	1080	0.00	29/06/202...		Riesgo Alto		S	MEC
PLV-06	Revisar abertura del gancho,...	360	60.00	09/07/202...		Riesgo Alto		N	MEC
PLV-07	Verificar correcto funcionamiento de...	180	60.00	11/01/202...		Riesgo Alto		N	MEC
PLV-08	Verificar el buen funcionamiento de...	180	40.00	11/01/202...		Riesgo Alto		N	MEC
PLV-09	Verificar estado de gancho y lubricar...	180	40.00	11/01/202...		Riesgo Alto		N	MEC
PLV-10	Verificar que el freno no desliza,...	180	60.00	11/01/202...		Riesgo Alto		N	MEC
REV...	Revisar partes visibles del cable,...	180	45.00	11/01/202...		Riesgo Medio		N	MEC
SCD...	Probar Protecciones y...	180	40.00	11/01/202...		Riesgo Bajo		N	ELN
<b>Parte:</b> RED-110-001		MOTOREDUCTOR							
<b>Punto:</b> RED-01		MANTENIMIENTO REDUCTORES							
Código	Sub-Punto	Frec	Tiempo	Fecha Mto.	# Ptos	Método	Lubricante	Paro	Tipo Mto.
CAM...	Cambiar aceite de reductora (Anual)	360	60.00	09/07/202...		Riesgo Medio	ACEITE-220 M	S	MEC
REV...	Controlar nivel de aceite en caja,...	180	40.00	11/01/202...		Riesgo Medio		N	MEC

Figura 49. Plan de Mantenimiento: Grúa Desarenado, PTAR Los Tajos.

(Elaboración propia, Tricom 2019)



DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO  
Reporte del Programa de Mantenimiento Preventivo

Programa para: Todos

<b>Sección:</b> 11		SERVICIOS AUXILIARES						
<b>Area:</b> 510		Agua de Servicios						
<b>Equipo:</b> FMA-001		FILTRO AUTOLIMPIANTE						
<b>Parte:</b> FMA-510-001		Filtro Malla de Agua						
<b>Punto:</b> FMA-01		MANTENIMIENTO DE FILTRO MALLA						
Código	Sub-Punto	Frec	Tiempo	Fecha Mto.	# Ptos	Método	Lubricante	Paro Tipo Mto.
ELE...	Comprobación de mediciones...	30	20.00	16/08/201 ...		Riesgo Medio		N ELE
FMA...	Desmontar proteccion husillo,...	180	360.0	11/01/202 ...		Riesgo Medio		S MEC
FMA...	Reparar tratamiento anticorrosión en ...	360	180.0	09/07/202 ...		Riesgo Medio		S MEC
FMA...	Revisar juntas interiores, si se...	180	360.0	11/01/202 ...		Riesgo Medio		S MEC
FMA...	Revisar la estanqueidad del culote y...	180	360.0	11/01/202 ...		Riesgo Medio		S MEC
FMA...	Revisión de estado de boquillas de...	180	360.0	11/01/202 ...		Riesgo Bajo		S MEC
LIM-01	Limpieza manual del cartucho...	180	360.0	11/01/202 ...		Riesgo Medio		S MEC
LIM-02	Limpieza del cartucho desbaste	180	360.0	11/01/202 ...		Riesgo Medio		S MEC
SCD...	Probar Protecciones y...	180	60.00	11/01/202 ...		Riesgo Bajo		N ELN
<b>Parte:</b> HS-510-001		BOTONERA						
<b>Punto:</b> INS-01		MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTOS						
Código	Sub-Punto	Frec	Tiempo	Fecha Mto.	# Ptos	Método	Lubricante	Paro Tipo Mto.
INS-01	Hacer pruebas, inspección visual,...	180	40.00	11/01/202 ...		Riesgo Bajo		N ELN
LIM-01	Limpieza de instrumento	30	30.00	16/08/201 ...		Riesgo Medio		S ELN
PRE...	Prueba de Funcionamiento	180	30.00	11/01/202 ...		Riesgo Bajo		S ELN
<b>Parte:</b> MOT-510-001		MOTOR ELECTRICO EXTERNO						
<b>Punto:</b> MOT-01		MANTENIMIENTO DE MOTORES EXTERNOS						
Código	Sub-Punto	Frec	Tiempo	Fecha Mto.	# Ptos	Método	Lubricante	Paro Tipo Mto.
ME...	Megueo de Motor	360	180.0	09/07/202 ...		Riesgo Medio		N ELE
PIN-01	Pintura y barnizado de Motor	720	200.0	04/07/202 ...		Riesgo Medio		S ELE
RES...	Resoque de Conexiones	180	60.00	11/01/202 ...		Riesgo Medio		S ELE
ROD...	Cambio de Rodamientos	720	360.0	04/07/202 ...		Riesgo Alto		N MEC
<b>Parte:</b> PNL-510-001		PANEL ELECTRICO						
<b>Punto:</b> PAN-01		MANTENIMIENTO DE PANEL ELECTRICO						
Código	Sub-Punto	Frec	Tiempo	Fecha Mto.	# Ptos	Método	Lubricante	Paro Tipo Mto.
PNL...	Limpieza y resoque de tablero de...	180	120.0	11/01/202 ...		Riesgo Medio		S ELE

Figura 50. Plan de Mantenimiento: Ventilador Desodorización, PTAR Los Tajos.

(Elaboración propia, Tricom 2019)

## F. TRICOM: Interfaz de integración de datos, equipos y planes.

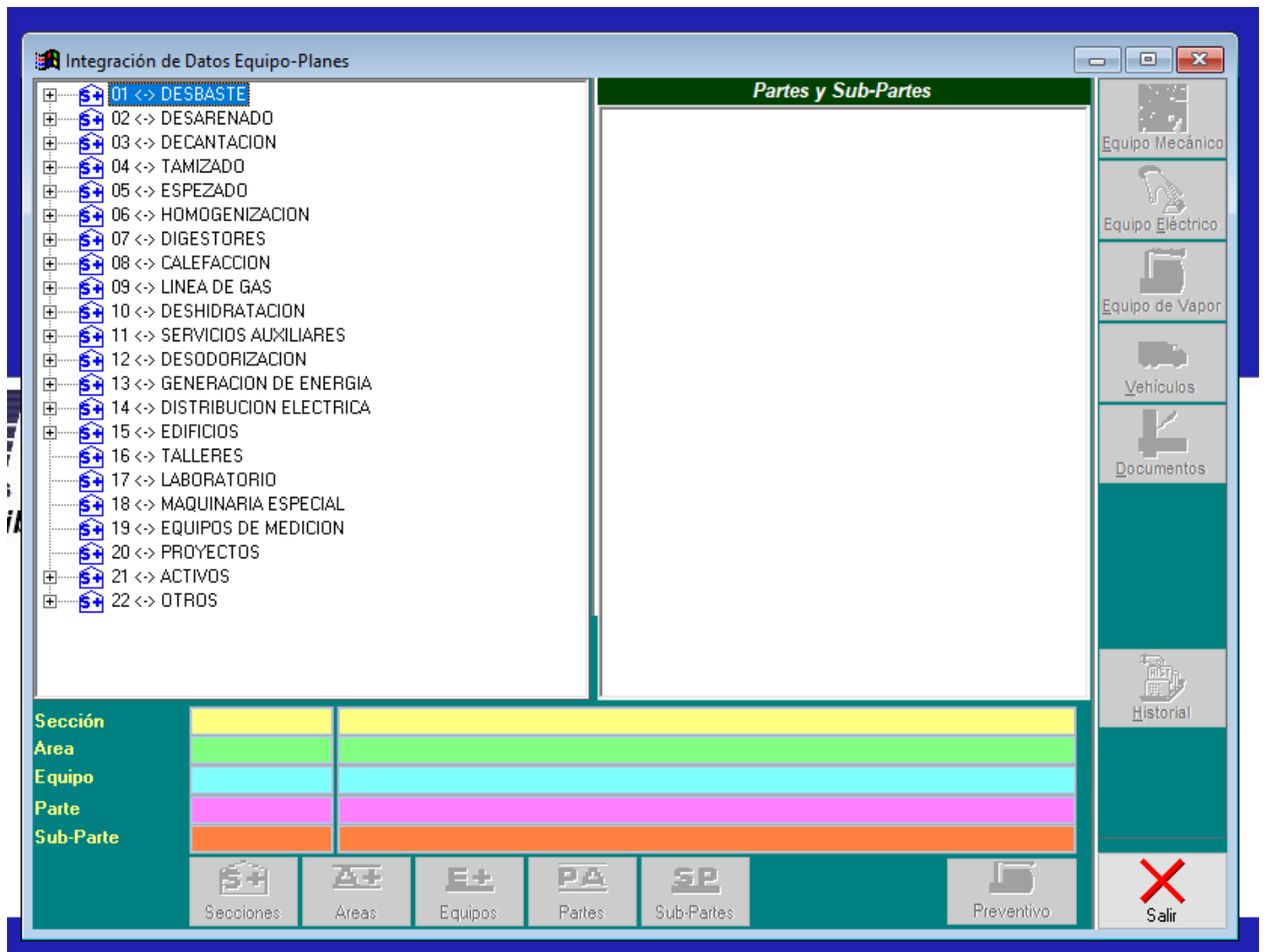


Figura 51. Integración de Datos Equipo-Planes

(Elaboración propia, Tricom 2019)