



**DEPARTAMENTO DE POSGRADOS**

**ANALISIS DE CONFIABILIDAD, DISPONIBILIDAD Y  
MANTENIBILIDAD A LOS EQUIPOS CRITICOS DE LA PLANTA  
DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE SUSTAG DE ETAPA EP.**

**Trabajo de Graduación previo a la obtención del título de:  
MAGISTER EN GESTION DE MANTENIMIENTO**

**Autor:**

**Ing. Guido Manuel Pinos Guillén**

**Director:**

**Ing. Freddy Pesantez Palomeque (MBA)**

**CUENCA - ECUADOR**

**MAYO 2016**

## **Dedicatoria**

A mi Familia, son ellos mi motivación siempre para seguir mejorando y con la que he contado con su apoyo y comprensión incondicional a lo largo de esta etapa de mi carrera profesional.

## **Agradecimiento**

A la Universidad del Azuay y de manera particular al Ing. Freddy Pesantez en la dirección de este trabajo de grado.

## **RESUMEN**

Este trabajo sobre el Análisis de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad (CDM) a los equipos críticos de la Planta de tratamiento de Agua Potable de Sustag, se enmarca en el contexto de la Gestión de Mantenimiento ejecutado en la Planta.

Para poder plantear mejoras y llegar a conclusiones se comienza determinando el estado actual del mantenimiento en el Capítulo 1, a través de una auditoría a las áreas funcionales del mantenimiento, la cual indica su entorno actual y donde quedan áreas que presentan oportunidades de mejora para que los servicios sean entregados con la calidad y oportunidad que son requeridos, que a su vez se implementan mediante planes de acción evaluando el grado de madurez de la gestión, luego en el Capítulo 2 se realiza un análisis de criticidad a los equipos de la planta en donde se describe los sistemas y equipos que intervienen en el proceso de tratamiento de agua, lo que permite jerarquizar los mismos por ser críticos en la producción, a continuación en el Capítulo 3 se introducen los conceptos de Tiempo medio entre fallos y tiempo medio para reparar así como los de CDM, es entonces que mediante el análisis del historial de fallas y reparaciones se calculan en porcentaje los valores CDM de los equipos críticos.

Finalmente en el Capítulo 4 se realiza una propuesta de mejoras a la gestión de mantenimiento en la Planta de agua con sus respectivas conclusiones y recomendaciones.

Palabras Claves: Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad, Probabilidad, Falla, Auditoría, Criticidad.

## ABSTRACT

This work on the Reliability, Availability, and Maintainability (RAM) Analysis to the critical equipment of Sustag Drinking Water Treatment Plant is part of the Maintenance Management implemented in the facility. In order to propose improvements and reach conclusions, Chapter 1 starts by determining the current maintenance status through an audit of the functional areas of maintenance. This indicates its current environment and the location of the areas that present opportunities for improvement, so that services are delivered with the required quality and timeliness, which in turn are implemented through action plans evaluating the degree of management maturity. Chapter 2 presents an analysis of criticality to the plant equipment, with a description of the systems and equipment involved in the water treatment process, enabling to rank them according to its criticality in the production. Chapter 3 introduces the concepts of mean time between failures, and mean time between repairs; as well as of RAM; consequently, the RAM values of the critical equipment are calculated as a percentage by analyzing the history of failures and repairs. Finally, Chapter 4 presents a proposal for improvements of management maintenance to be carried out in the water plant, as well as the conclusions and recommendations.

**Keywords:** Reliability, Availability, Maintainability, Probability, Failure, Audit, Criticality.



  
Translated by,  
Lic. Lourdes Crespo

## Índice de Contenidos

DEDICATORIA .....	I
AGRADECIMIENTO .....	II
RESUMEN.....	III
ABSTRACT.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	V
ÍNDICE DE TABLAS .....	IX
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	IX
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	X
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO 1 .....	2
1. AUDITORIA A LA GESTION DEL MANTENIMIENTO	
ELECTROMECHANICO EN LA PTAP DE SUSTAG. ....	2
1.1. ANTECEDENTES .....	2
1.2. OBJETIVO DE LA AUDITORIA DE MANTENIMIENTO .....	3
1.3. ALCANCE DE LA AUDITORIA.....	3
1.4. CRITERIOS DE AUDITORÍA. ÁREAS FUNCIONALES .....	4
1.4.1. ORGANIZACIÓN, PERSONAL, RELACIONES .....	4
1.4.1.1. Adecuación y balance del organigrama .....	4
1.4.1.2. Directrices de mantenimiento .....	4
1.4.1.3. Formación y cualificación del personal .....	4
1.4.1.4. Planes de formación.....	5
1.4.1.5. Motivación del personal.....	5
1.4.1.6. Comunicación .....	5
1.4.2. PREPARACIÓN Y PLANIFICACIÓN DEL TRABAJO.....	5
1.4.2.1. Sistemática de órdenes de trabajo (O.T.).....	5
1.4.2.2. Coordinación de especialidades.....	5
1.4.2.3. Establecimiento de programas .....	6
1.4.2.4. Definición de materiales .....	6
1.4.2.5. Estimación de tiempos .....	6
1.4.2.6. Estimación de fechas de finalización.....	6

1.4.2.7. Recepción de trabajos terminados .....	6
1.4.2.8. Evaluación de necesidades externas .....	6
1.4.3. INGENIERIA, INSPECCIÓN, MANTENIMIENTO PREVENTIVO. 6	
1.4.3.1. Diseño y montaje instalaciones existentes.....	7
1.4.3.2. Documentación técnica disponible .....	7
1.4.3.3. Historial de equipos .....	7
1.4.3.4. Investigación sistemática de averías. ....	7
1.4.3.5. Gamas de mantenimiento.....	7
1.4.3.6. Análisis de métodos de trabajo .....	7
1.4.3.7. Dotación de medios de mantenimiento e inspección.....	8
1.4.4. COMPRAS Y ALMACENES DE MANTENIMIENTO .....	8
1.4.4.1. Sistemática de la gestión de compras .....	8
1.4.4.2. Recepción de materiales .....	8
1.4.4.3. Locales. Disposición física de los materiales. Localización.....	8
1.4.4.4. Codificación. Estandarización de recambios .....	8
1.4.4.5. Calidad del servicio de los almacenes de mantenimiento.....	8
1.4.5. CONTRATACIÓN .....	8
1.4.5.1. Política de Contratación de trabajos .....	9
1.4.5.2. Especificación técnica de los trabajos a contratar. ....	9
1.4.5.3. Selección de Contratistas .....	9
1.4.5.4. Supervisión de Contratistas .....	9
1.4.6. PRESUPUESTOS DE MANTENIMIENTO.....	9
1.4.6.1. Control de Costos.....	10
1.4.6.2. Preparación de presupuesto anual de Mantenimiento.....	10
1.4.6.3. Definición de tipos de Mantenimiento. Tratamiento Contable.....	10
1.4.6.4. Documentos de Gestión Económica .....	10
1.4.6.5. Informatización del Control de Costes .....	10
1.4.6.6. Seguimiento y Control de Costes.....	10
1.4.6.7. Existencia y evolución de índices económicos.....	11
1.4.7. EFICIENCIA .....	11
1.4.7.1. Duración de los trabajos de Mantenimiento .....	11
1.4.7.2. Rendimiento de la Mano de Obra .....	11
1.4.7.3. Cumplimiento de los plazos.....	11
1.4.7.4. Calidad de los trabajos realizados.....	11

1.4.7.5. Coste de los trabajos realizados .....	11
1.4.7.6. Estado de las Instalaciones-Averías.....	11
1.4.7.7. Calidad de servicio.....	12
1.5. CRITERIOS DE PONDERACION.....	12
1.6. DESARROLLO DE LA AUDITORIA EN CAMPO.....	14
1.6.1. Calculo de Áreas Funcionales y clasificación de conformidad .....	14
1.6.1.1. Calificación.....	14
1.6.1.2. Tratamiento de datos.....	14
1.6.1.3. Análisis de resultados .....	15
1.6.2. Resultados de las áreas funcionales y a su vez cada una de ellas representadas en diagramas de radar.....	26
1.6.3. Plan de acción .....	30
1.6.4. Grado de madurez. ....	40
1.6.5. Conclusiones del Capítulo. ....	44
CAPITULO 2.....	46
2. ANALISIS DE CRITICIDAD. EQUIPOS DE LA PTAP DE SUSTAG .....	46
2.1. ANTECEDENTES .....	46
2.2. PRECONDICIONES PARA EL ANALISIS DE CRITICIDAD.....	49
2.2.1. Proceso general del Tratamiento de Agua Potable .....	49
2.2.2 Descripción técnica de los sistemas y equipos de planta involucrados en el proceso de producción.....	54
2.2.3.1 REACTIVOS .....	54
2.2.3.2 SALA DE MAQUINAS .....	55
2.2.3.3 CLORACION .....	56
2.2.3.4 DESHIDRATACION DE FANGOS.....	56
2.2.3.5 GENERACION DE POTENCIA .....	58
2.2.3.6 PLANTA EN GENERAL.....	59
2.2.3 MODELO DE CRITICIDAD SEMICUANTITATIVO “CTR” (CRITICIDAD TOTAL POR RIESGO).....	61
2.2.3.1 Criterios de Análisis de Criticidad y su cuantificación.....	62
2.2.4 Aplicación del método en campo.....	65
2.2.5 Lista jerarquizada. Diagrama de Pareto .....	76
2.2.6 Conclusiones del Capítulo .....	78
CAPITULO 3.....	79



3.	CALCULO DE CONFIABILIDAD, DISPONIBILIDAD Y MANTENIBILIDAD A LOS EQUIPOS CRITICOS. ....	79
3.1.	ANTECEDENTES .....	79
3.2.	Mean Time Between Failures (MTBF). Tiempo medio entre Fallos. ....	80
3.3.	Mean Time To Repair (MTTR). Tiempo medio para Reparar. ....	81
3.4.	Confiabilidad. - .....	81
3.5.	Mantenibilidad. – .....	84
3.6.	Disponibilidad.....	85
3.7.	Cálculo de los parámetros CMD.....	86
3.8.	Conclusiones del Capítulo .....	95
	CAPITULO 4 .....	98
4.	PROPUESTA DE MEJORAS A LA GESTION DE MANTENIMIENTO ....	98
4.1.	ANTECEDENTES .....	98
4.1.1.	Propuestas respecto a la Auditoria .....	98
4.1.2.	Respecto al análisis de criticidad. ....	100
4.1.3.	Indicadores CDM para la PTAP de Sustag. ....	100
4.2.	MANTENIMIENTO CON UN ENFOQUE EN PROCESOS .....	105
4.3.	TEORÍAS APLICADAS A LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO .	106
4.3.1.	Mantenimiento Productivo Total (TPM) .....	106
4.3.2.	Mantenimiento Basado en Condición (MBC) .....	107
4.3.3.	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) .....	107
4.3.4.	Optimización del Mantenimiento Planeado (PMO).....	107
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	108
5.1.	Conclusiones.....	108
5.2.	Recomendaciones .....	109
	BIBLIOGRAFÍA .....	110

## Índice de Tablas

Tabla 1.1 Criterios de Ponderación para Auditoría.....	13
Tabla 1.2 Cálculo de Áreas funcionales según ponderación.....	14
Tabla 1.3 Criterios de conformidad .....	15
Tabla 1.4 Calculo de Áreas Funcionales y clasificación de conformidad .....	16
Tabla 1.5 Planes de Acción Respecto a tipo de conformidad. ....	30
Tabla 1.6 Matriz de autoevaluación cualitativa de mantenimiento. Grado de madurez .....	40
Tabla 1.7 Porcentajes de conformidad de cada área funcional .....	45
Tabla 2.1 Criterios para determinar Criticidad .....	64
Tabla 2.2 Determinación de factores de criticidad.....	66
Tabla 2.3 Cálculo de criticidad .....	70
Tabla 2.4 Matriz de criticidad propuesto por el modelo CTR .....	78
Tabla 3.1 Cálculo de MTBF Y MTTR a los equipos críticos.....	88
Tabla 3.2 Cálculos CDM (Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad) a los equipos críticos.....	91
Tabla 3.3 Consolidado de resultados CDM de equipos críticos .....	95
Tabla 4.1 Indicadores de auditoría a las Áreas Funcionales de mantenimiento .....	99
Tabla 4.2 Indicadores CDM.....	101
Tabla 4.3 Indicadores Actuales de Mantenimiento electromecánico.....	103
Tabla 4.4 Resumen mensual de indicadores de gestión.....	104

## Índice de Gráficos

Gráfico 1.1 Planta de Tratamiento de Agua Potable de Sustag. ....	3
Gráfico 1.2 Diagrama de Radar. Representación general de Áreas Funcionales.....	27
Gráfico 1.3 Diagrama de Radar. Organización, Personal, Relaciones.....	28
Gráfico 1.4 Diagrama de Radar. Preparación y planificación del Trabajo .....	28
Gráfico 1.5 Diagrama de Radar. Ingeniería, Inspección, Mantenimiento Preventivo .....	28
Gráfico 1.6 Diagrama de Radar. Compras y Almacenes de Mantenimiento .....	28
Gráfico 1.7 Diagrama de Radar. Contratación.....	29
Gráfico 1.8 Diagrama de Radar. Presupuestos de Mantenimiento .....	29

Gráfico 1.9 Diagrama de Radar. Eficiencia .....	29
Gráfico 2.1 Modelo básico de criticidad .....	49
Gráfico 2.2 Plano de Implantación General .....	51
Gráfico 2.3 Diagrama de Flujo Tratamiento de Agua Potable.....	52
Gráfico 2.4 Pantalla Scada Proceso de Tratamiento .....	53
Gráfico 2.5 Edificio de Químicos .....	54
Gráfico 2.6 Casa de Máquinas .....	55
Gráfico 2.7 Edificio de Cloración .....	56
Gráfico 2.8 Edificio de Deshidratación de Fangos .....	57
Gráfico 2.9 Edificio de Transformación .....	58
Gráfico 2.10 Planta General .....	60
Gráfico 2.11 Lista jerarquizada. Diagrama de Pareto .....	77
Gráfico 3.1 Esquema de la vida útil de un equipo .....	79
Gráfico 3.2 Curva de Davies (Curva de la Bañera). .....	83
Gráfico 3.3 Diagrama de barras, parámetros CDM equipos críticos .....	96
Gráfico 3.4 La Disponibilidad como resultado de la Confiabilidad y Mantenibilidad .....	97
Gráfico 4.1 Representación del trabajo realizado .....	98
Gráfico 4.2 Enfoque basado en procesos .....	105

### **Índice de Ecuaciones**

Ecuación 1.1 Criticidad por Riesgo .....	61
Ecuación 1.2 Consecuencias .....	62
Ecuación 1.3 Criticidad Total por Riesgo .....	62
Ecuación 3.1 Expresión del MTBF. Tiempo Medio entre fallas .....	81
Ecuación 3.2 Expresión del MTTR. Tiempo Medio para reparar.....	81
Ecuación 3.3 Confiabilidad .....	84
Ecuación 3.4 Relación del MTBF con la Taza de fallos.....	84
Ecuación 3.5 Mantenibilidad .....	85
Ecuación 3.6 Relación del MTTR con la Taza de reparación.....	85

## INTRODUCCIÓN

El mantenimiento en la actualidad ha cambiado talvez más que cualquier otra disciplina de la administración, y esto se debe a un aumento en número y variedad de recursos físicos que deben mantenerse, plantas mucho más complejas, nuevas técnicas de mantenimiento que en los últimos años han desarrollado herramientas de apoyo a la decisión, como estudios de criticidad y riesgo, análisis de modos y efectos de fallo, análisis causa raíz, costo de ciclo de vida, entre otros y que son usadas en técnicas o estrategias de la confiabilidad operacional como el Mantenimiento Productivo Total (MPT), Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) o el Mantenimiento basado en condición (MBC) haciendo un mayor énfasis en la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.

En este contexto la finalidad de este estudio pretende impulsar la Gestión del mantenimiento a otros niveles más avanzados, acorde a los tiempos actuales y al avance tecnológico, implementado políticas de mantenimiento que la hagan más competitiva, segura y eficiente.

ETAPA EP forma parte de las Empresas del Municipio de Cuenca que brinda servicios básicos a la ciudadanía, como son el Saneamiento, las Telecomunicaciones y entre estos servicios se encuentra el suministro de Agua Potable, del cual la empresa es responsable de la calidad y cantidad necesarias para su consumo.

La empresa alcanzó la certificación ISO 9001 en el año 2012 y la mantiene desde entonces, aplicando los requisitos de la normativa ISO 9001 a los procesos de potabilización de agua en las Plantas como parte de un plan estratégico organizacional y en el cual el Mantenimiento Electromecánico consta como un proceso de soporte dentro del mapa de procesos del sistema de gestión de calidad.

El estudio presentado en este trabajo de Titulación fue realizado en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Sustag ubicado en la Vía Cuenca-Soldados Km 12 a una altitud de 2920 m.s.m. que sirve a la zona sudoeste de la ciudad con una cobertura aproximada de 20000 habitantes a la fecha entre las zonas urbanas y rurales del área de influencia.

## **CAPITULO 1**

### **1. AUDITORIA A LA GESTION DEL MANTENIMIENTO ELECTROMECHANICO EN LA PTAP DE SUSTAG.**

#### **1.1. ANTECEDENTES**

Cuando la dirección de una empresa o el responsable del departamento se plantea si la gestión que se hace del mantenimiento es la adecuada, la respuesta puede ser SI, NO o REGULAR. Claro está que cualquiera de las tres respuestas es insatisfactoria, porque entre cada una de ellas hay muchos puntos intermedios de respuesta, y porque no informa sobre qué cosas habría que cambiar para que la gestión del departamento pudiera considerarse excelente. La mejor solución cuando quiere conocerse si la gestión que se realiza es la mejor posible suele ser realizar una auditoría de gestión de mantenimiento, analizando la situación actual y determinar qué cosas se requieren para empezar una mejora continua. (García, 2009)

La efectividad de la gestión del Mantenimiento sólo puede ser evaluada y medida por el análisis exhaustivo de una amplia variedad de factores que, en su conjunto, constituyen la aportación del Mantenimiento a la calidad de los servicios.

No hay fórmulas simples para "medir" el Mantenimiento, tampoco hay reglas fijas o inmutables con validez para siempre y en todos los casos, cualquier planteamiento de análisis del Mantenimiento, debe hacerse con la suficiente flexibilidad para admitir todos los posibles escenarios dentro de cada uno de los contextos operacionales.

La sistemática para el diagnóstico de la gestión del Mantenimiento que aquí se desarrolla, está diseñada para evaluar el grado de calidad con que el servicio de Mantenimiento está empleando respecto a las técnicas y medios de controles actualmente disponibles y aplicables para alcanzar sus objetivos, este diagnóstico asume que el empleo de estas técnicas y controles está, lógicamente, en correspondencia directa con los resultados que se obtengan.

El diagnóstico consiste en un detallado y cuidadoso análisis y calificación de cada una de las funciones características de la gestión del Mantenimiento, agrupadas según las áreas básicas que constituyen su campo de actividad. A continuación las

puntuaciones se ponderan y totalizan para obtener la valoración de cada área y el total de la gestión del Mantenimiento. (González, 2004)

El método indica, con expresión numérica, las áreas que requieren mayor atención, identifica los puntos débiles, apunta las acciones correctivas y ayuda consecuentemente al responsable de Mantenimiento a establecer sus objetivos. Los diagnósticos sucesivos posibilitan el seguimiento y medición de su plan de mejoras.

## **1.2. OBJETIVO DE LA AUDITORIA DE MANTENIMIENTO**

El objetivo que se persigue al realizar esta Auditoría es saber en qué situación se encuentra el mantenimiento electromecánico en la PTAP de Sustag. (Grafico 1.1) en un momento determinado, además de identificar puntos de mejora y determinar qué acciones son necesarias para mejorar los resultados.



**Gráfico 1.1 Planta de Tratamiento de Agua Potable de Sustag.**

## **1.3. ALCANCE DE LA AUDITORIA**

Aquí se determina la extensión y límites de una auditoría, que para el caso del mantenimiento en la PTAP de Sustag se van a evaluar las áreas funcionales del mantenimiento y que corresponden a:

- Organización. Personal. Relaciones.
- Preparación y Planificación del Trabajo.
- Ingeniería. Inspección y Mantenimiento Preventivo.
- Compras y Almacenes de Materiales.
- Contratación.
- Presupuestos de Mantenimiento. Control de costos.
- Eficiencia.

Luego de obtenido los resultados y teniendo concretamente las no conformidades mayores, menores y conformidades se presenta un cuadro con un plan de acción para cada una de ellas.

#### **1.4. CRITERIOS DE AUDITORÍA. ÁREAS FUNCIONALES**

Son el conjunto de políticas, procedimientos o requerimientos usados como referencia, el cual para este análisis se toma un cuestionario respecto a cada una de las áreas funcionales del mantenimiento, cada área de gestión antes mencionada se ha subdividido en las funciones de actuación correspondientes, (Carmen Barrios, 2012) cuyo contenido se detalla:

##### **1.4.1. ORGANIZACIÓN, PERSONAL, RELACIONES**

En esta área se califican todos aquellos aspectos relacionados con el organigrama, su distribución y organización funcional, el personal y su formación y motivación así como el nivel y bondad de las relaciones dentro del departamento y con otros departamentos.

###### **1.4.1.1. Adecuación y balance del organigrama**

En este apartado se valora la estructura funcional y jerárquica del Departamento de Mantenimiento, la dimensión de la plantilla, la distribución por turnos, especialidades y áreas de trabajo.

###### **1.4.1.2. Directrices de mantenimiento**

Se va a calificar en este apartado las normativas de actuación, instrucciones disponibles y filosofía de actuación existente en el Departamento de Mantenimiento.

###### **1.4.1.3. Formación y cualificación del personal**

Se incluye aquí todos los aspectos relacionados con la actual formación de Técnicos y Especialistas, Conocimientos generales y específicos de las instalaciones, Formación de base, experiencia, etc.

#### **1.4.1.4. Planes de formación**

Se valora en este apartado la existencia o no existencia de planes de formación, así como su adecuación a las necesidades del Departamento de Mantenimiento.

#### **1.4.1.5. Motivación del personal**

En este apartado se va a calificar, como indica el título del mismo, la motivación existente, a todos los niveles jerárquicos, en el Departamento de Mantenimiento, sin tener en cuenta sus causas ni justificación.

#### **1.4.1.6. Comunicación**

Se incluye en este apartado la comunicación dentro del Departamento de Mantenimiento, entre los distintos niveles de actuación, la comunicación con otros departamentos y con los usuarios o responsables de la planta. Valoraremos no sólo las buenas relaciones sino también el grado idóneo de dicha comunicación.

### **1.4.2. PREPARACIÓN Y PLANIFICACIÓN DEL TRABAJO**

La gran masa de trabajos que han de realizarse, requiere un tratamiento organizado desde el momento en que se detecta la necesidad, hasta su finalización en condiciones adecuadas. Todo este proceso es el que se puntúa en esta área.

#### **1.4.2.1. Sistemática de órdenes de trabajo (O.T.)**

Se va a calificar en este apartado la organización que siguen las O.T., las firmas de autorización que necesitan, los textos, etc. así como la organización administrativa para su control.

#### **1.4.2.2. Coordinación de especialidades**

Es frecuente en el tipo de trabajos que se realizan, la necesaria intervención de personal de distintas especialidades y cuya coordinación para conseguir un buen resultado es lo que se califica en este apartado.



#### **1.4.2.3. Establecimiento de programas**

Todos los aspectos relacionados con la Planificación de trabajos son los que se valoran aquí, carga de trabajo por especialidad y por sector, preparación de programas especiales, etc.

#### **1.4.2.4. Definición de materiales**

Todo trabajo necesita, en mayor o menor grado, unos materiales para su ejecución, la previsión de los mismos en cantidad y calidad es lo que se va a tener en cuenta al valorar esta actividad.

#### **1.4.2.5. Estimación de tiempos**

Difícilmente puede realizarse ningún tipo de actividad sin estar pendiente de su duración, la previsión de la misma y su utilización es lo valorado aquí.

#### **1.4.2.6. Estimación de fechas de finalización**

Si es bueno estimar una fecha de finalización de cada trabajo, mejor es acertarla. Ambos aspectos se va a tener en cuenta al calificar este apartado.

#### **1.4.2.7. Recepción de trabajos terminados**

El peticionario de cada trabajo ha de ser el receptor del mismo, ya sea en cantidad, calidad y plazo, su aceptación o no, es clave para la buena marcha del servicio. Es en el momento de esta aceptación cuando puede hablarse de quejas concretas.

Se califica en este apartado la existencia o no existencia de un método sistematizado así como de su eficacia.

#### **1.4.2.8. Evaluación de necesidades externas**

En general para poder evaluar las necesidades de Contratistas, es necesario disponer de la carga de trabajo y la Planificación de los mismos recursos propios disponibles, idoneidad, urgencia del trabajo, etc., y es a partir de estos datos cuando se puede establecer las necesidades de recursos externos que lógicamente se utilizan para realizar aquellos trabajos que no puedan serlo por medios propios. Los métodos y procedimientos utilizados para establecer esta evaluación son calificados en este apartado.

### **1.4.3. INGENIERIA, INSPECCIÓN, MANTENIMIENTO PREVENTIVO.**

Esta área cubre los aspectos más técnicos que habitualmente deben existir en un Departamento de Mantenimiento para poder desarrollar sus cometidos principales.

#### **1.4.3.1. Diseño y montaje instalaciones existentes**

Se valoran únicamente los edificios, instalaciones, equipo y maquinaria actualmente existente, analizando desde el punto de vista de las necesidades de Mantenimiento, Calidad, instalaciones, Mantenibilidad, Fiabilidad, etc.

#### **1.4.3.2. Documentación técnica disponible**

Se analiza aquí la cantidad y calidad de la documentación técnica disponible: Planos generales y de detalle, Normas e instrucciones de los fabricantes, Listas de recambios de cada máquina o instalación, etc.

La puntuación se hace sobre la cantidad, calidad y localización rápida de lo disponible y utilizado por los Técnicos de Mantenimiento, así como del esfuerzo que dicho departamento hace para su mejora y puesta al día.

#### **1.4.3.3. Historial de equipos**

Se trata de valorar la existencia o no de Fichas Historiales de cada equipo donde, además de indicar las características del mismo, se disponga de las principales modificaciones que se le han realizado, averías, así como los costes anuales de Mantenimiento.

#### **1.4.3.4. Investigación sistemática de averías.**

Se ha de valorar también si existe por parte del Departamento de Mantenimiento el criterio de que a través del análisis sistematizado de las averías más frecuentes puedan obtenerse propuestas para su eliminación.

#### **1.4.3.5. Gamas de mantenimiento**

Se incluye en la calificación de este apartado todos los aspectos relacionados con el Mantenimiento y la Inspección, Instrucciones Técnicas, Programas existentes, etc.

#### **1.4.3.6. Análisis de métodos de trabajo**

La ejecución de los trabajos de Mantenimiento pueden realizarse de forma totalmente rutinaria o bien partiendo de su análisis y dando instrucciones detalladas a los operarios, herramientas a utilizar, etc.

#### **1.4.3.7. Dotación de medios de mantenimiento e inspección**

La realización de los trabajos cada día exige más la utilización de mejores y más precisas herramientas, disponibles hoy en el mercado, para que la calidad y duración de los mismos sea la correcta.

#### **1.4.4. COMPRAS Y ALMACENES DE MANTENIMIENTO**

Esta área abre los aspectos relacionados con la gestión de aprovisionamiento de materiales y recambio para la realización de los trabajos de Mantenimiento.

##### **1.4.4.1. Sistemática de la gestión de compras**

Se valora en este apartado aspectos tales como: Selección de proveedores, especificaciones que se dan en los pedidos, circuitos administrativos, negociación de precios y en general todos los aspectos relacionados con la organización de compras, excepto la recepción del material que hemos incluido en el apartado siguiente.

##### **1.4.4.2. Recepción de materiales**

Se analiza el sistema de control establecido para aceptar los materiales que son comprados: Calidad y Cantidad de los mismos en correspondencia con el pedido y fiabilidad de la recepción son los puntos claves a valorar.

##### **1.4.4.3. Locales. Disposición física de los materiales. Localización**

Se valora los aspectos físicos de los Almacenes de Mantenimiento, su idoneidad y distribución, limpieza y orden.

##### **1.4.4.4. Codificación. Estandarización de recambios**

Se trata aquí de valorar la situación en que estos conceptos se hallan actualmente.

##### **1.4.4.5. Calidad del servicio de los almacenes de mantenimiento**

Aquí se analiza y valora la organización que tienen estos Almacenes y el Servicio prestado a los distintos equipos de Mantenimiento: rotura de stocks, materiales en buen estado, reserva de materiales, etc.

#### **1.4.5. CONTRATACIÓN**

Se incluye aquí los aspectos que se van a analizar para poder valorar la contratación de trabajos de Mantenimiento. Si en un momento dado es necesario incrementar el personal de Mantenimiento, lo será para realizar trabajos de determinadas

especialidades. Se analiza si es más rentable y operativo buscar a las empresas adecuadas que realicen estos trabajos.

#### **1.4.5.1. Política de Contratación de trabajos**

Se valora en este apartado si realmente existe esta política o simplemente se va improvisando sobre la marcha. También se calificará la bondad y eficacia de la misma.

#### **1.4.5.2. Especificación técnica de los trabajos a contratar.**

Un buen contrato normalmente es consecuencia de una buena especificación de lo que se quiere. En este apartado se considera como se realizan actualmente estas especificaciones, el alcance y calidad de los mismos.

#### **1.4.5.3. Selección de Contratistas**

El precio no es la única característica que ha de tenerse en cuenta cuando se decide qué contratista ha de realizar un determinado trabajo, la profesionalidad de su personal, el conocimiento que de las instalaciones tenga, la seriedad de la empresa y otras muchas características deben contribuir a perfilar una decisión. No perder de vista que no siempre es posible definir un trabajo en sus mínimos detalles y por tanto debe de trabajarse con un grupo de empresas que estén compuestas por muy buenos profesionales y éstos deben ser homologados.

#### **1.4.5.4. Supervisión de Contratistas**

Es imprescindible, a la hora de valorar este apartado, tener en cuenta quién y cómo se lleva el control de Contratistas: sus horas de presencia, la calidad de los trabajos, su duración, cumplimiento de plazos y Normas de Seguridad, desviaciones, son otros tantos aspectos que condicionan la calificación.

#### **1.4.6. PRESUPUESTOS DE MANTENIMIENTO**

El cálculo del presupuesto de mantenimiento es una labor importante que asume el Responsable de Mantenimiento de una instalación como una de sus funciones, se trata de realizar cálculos sobre previsiones futuras que pueden materializarse o no.

#### **1.4.6.1. Control de Costos**

Se califica dentro de esta área todos los aspectos económicos que afectan a la gestión de Mantenimiento, los sistemas existentes, así como los métodos y procedimientos de control utilizados se analizan en función de su bondad y eficacia.

#### **1.4.6.2. Preparación de presupuesto anual de Mantenimiento**

El Presupuesto anual es el máximo objetivo económico que este departamento puede tener. Su existencia o no, su desglose, el método utilizado para su establecimiento, la participación de todos los estamentos y personas implicadas, etc., son aspectos que se cuantifica y valora en este apartado.

#### **1.4.6.3. Definición de tipos de Mantenimiento. Tratamiento Contable**

Se va a calificar en este apartado el detalle contable al que llega este presupuesto. La separación de los costos de Mano de Obra, Materiales y Contrataciones, el desglose en tipo de Mantenimiento: Correctivo, Preventivo, Modificativo, etc., los centros de gastos codificados claramente para Mantenimiento, son puntos incluidos en este apartado y que se valoran en el mismo.

#### **1.4.6.4. Documentos de Gestión Económica**

La utilización de documentos standard, su periodicidad, así como hasta qué nivel de información se envía a los distintos responsables, son los conceptos que aquí se valora.

#### **1.4.6.5. Informatización del Control de Costes**

Su utilización como herramienta para conseguir una sistematización del proceso de Control de Costes en Mantenimiento, la fiabilidad de los datos y superficie son aspectos dignos de considerar para decidir la aplicación de medios informáticos. La existencia o no de estos medios es valorada en este apartado.

#### **1.4.6.6. Seguimiento y Control de Costes.**

Independientemente del esquema económico que el Mantenimiento pueda tener y que ya se calificó en los apartados anteriores, se ha de valorar los sistemas y procedimientos que se utilizan para seguir y controlar los costes disponibles, así como confiabilidad y eficacia.

#### **1.4.6.7.Existencia y evolución de índices económicos.**

Disponer de unos índices cronológicos, que puedan ser comparados en el tiempo así como con otras instituciones de parecidas características, resulta de gran utilidad a los responsables de Mantenimiento en sus distintos niveles. En este apartado se valora su existencia o no, así como su eficacia.

#### **1.4.7. EFICIENCIA**

Los resultados que Mantenimiento consigue se desglosan en distintas áreas de su actividad. Se va a calificar aquí, si realmente se siguen criterios para medir estos resultados así como el nivel de los mismos.

##### **1.4.7.1.Duración de los trabajos de Mantenimiento**

Uno de los desafíos más grandes que enfrenta el responsable de mantenimiento es el desarrollo y finalización de la lista de trabajos dentro de los plazos establecidos.

##### **1.4.7.2.Rendimiento de la Mano de Obra**

Como su enunciado indica, se valora en este apartado si la duración promedio de los trabajos es más o menos correcta y lógicamente la actividad del personal que realiza los mismos.

##### **1.4.7.3.Cumplimiento de los plazos**

Para poder llegar a obtener un buen cumplimiento de las fechas y plazos de entrega, es necesario que sigamos unos criterios y que contemos con una serie de herramientas que ayuden en la gestión para cumplir con los plazos de entrega.

##### **1.4.7.4.Calidad de los trabajos realizados**

Es esencial para asegurar reparaciones de alta calidad, estándares exactos, máxima disponibilidad, extensión del ciclo de vida del equipo y tasas eficientes de producción del equipo.

##### **1.4.7.5.Coste de los trabajos realizados**

El conocimiento de los componentes en los costos de los trabajos permite predecir con mayor aproximación el costo total de una prestación o servicio.

##### **1.4.7.6.Estado de las Instalaciones-Averías**

Una política de eficaz realización de los trabajos de Mantenimiento debe reportar, entre otros beneficios, una disminución progresiva de las averías así como una visible mejora de las instalaciones y su calificación es la que se realiza en este apartado.

#### 1.4.7.7. Calidad de servicio

La correcta relación entre el plazo, el coste y la calidad de las acciones que realiza Mantenimiento para conseguir los resultados adecuados y el grado de satisfacción suficientes en los usuarios.

Entonces esta auditoría de mantenimiento no es otra cosa que comprobar cómo se gestiona cada uno de los puntos indicados anteriormente, en los que se tratan de determinar el grado de excelencia de un departamento de mantenimiento y de su forma de gestionar.

#### 1.5. CRITERIOS DE PONDERACION

La Ponderación de cada Área Funcional depende de la importancia que tiene cada una de estas en el Mantenimiento, es decir se le asigna un peso mayor o menor de acuerdo a una estimación dada por el o los encargados del proceso. (Carmen Barrios, 2012)

Se ponderan sobre 100 la importancia y repercusión relativa de cada área respecto al total de la gestión del Mantenimiento.

En el caso del Mantenimiento en la PTAP de Sustag, las ponderaciones a cada una de las áreas funcionales queda de la siguiente manera, como se indica en la Tabla 1.1

Item	Área Funcional	Criterio de Ponderación	Ponderación (%)
1	ORGANIZACIÓN, PERSONAL, RELACIONES	Es la estructura del proceso, como está organizado el departamento?, su organigrama, la formación y calificación del personal técnico, además de reflejar niveles de comunicación tanto dentro del área como con otros departamentos.	15
2	PREPARACIÓN Y PLANIFICACIÓN DEL TRABAJO	Como se planifica y prepara el mtto en la Planta?, este aspecto es de suma importancia ya que en él se va a ver reflejado la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad de los equipos para el normal desempeño de operaciones.	20

3	INGENIERIA, INSPECCIÓN, MANTENIMIENTO PREVENTIVO.	Que técnicas de mtto se están aplicando en base a análisis de datos, históricos de mantenimiento, requerimientos de mantenimiento	15
4	COMPRAS Y ALMACENES DE MANTENIMIENTO	Existe un presupuesto para este rubro, en base a que se almacenan insumos y/o repuestos	10
5	CONTRATACIÓN	Generalmente que tipos de contratos se realizan, son trabajos especiales?, cual es la frecuencia con que se realizan.	15
6	PRESUPUESTOS DE MANTENIMIENTO CONTROL DE COSTOS	Existe una planificación anual para esta área, que partidas están consideradas, como se realiza el presupuesto?	10
7	EFICIENCIA	Existen indicadores de gestión ya sean organizacionales, técnicos o económicos que reflejen la eficiencia del departamento?	15
<b>Total Ponderación</b>			<b>100</b>

**Tabla 1.1 Criterios de Ponderación para Auditoría.**

Los Porcentajes son asignados por el Ingeniero de Mantenimiento de acuerdo a la importancia relativa de cada área funcional, es así que al Área 2 se le asigna el mayor porcentaje (20%) porque el mantenimiento depende intrínsecamente de la planificación y a partir de este se derivan las demás áreas funcionales.

Las Áreas funcionales 1, 3, 5 y 7 se le asigna un porcentaje de 15% porque estas áreas funcionan como apoyo y tiene un peso similar al momento de calificarlas, y las áreas 4 y 6 se les asigna con un 10% debido a que bodega y presupuestos no se manejan directamente en la planta, sino que dependen del Área Administrativa de la Empresa.



DIAGNÓSTICO DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO											PAG: 1 DE 7					
											FECHA: .....					
% Ponderación AREAS A	AREAS/FUNCIONALES	% Ponderación FUNCIONES B	C= CALIFICACION AREA/FUNCION (10 Perfecto)										% Calific. AREA D= $\frac{B \times C}{10}$	% Calific. MTO. F= $\frac{A \times D}{100}$		
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9			10	
20	1. Organización, Personal, Relaciones	100													24.2	4.84
	1.1. Adecuación y Balance del Organigrama	22			2										4.4	
	1.2. Directrices de Mantenimiento	10	0												0	
	1.3. Formación y Cualificación del Personal	25													15	
	1.4. Planes de Formación	10	0												0	
	1.5. Motivación del Personal	18		1											1.8	
	1.6. Comunicación	15			2										3	

**Tabla 1.2 Cálculo de Áreas funcionales según ponderación**

## 1.6. DESARROLLO DE LA AUDITORIA EN CAMPO

Se llevan a cabo una evaluación por parte del Ingeniero de Mantenimiento electromecánico del proceso de mantenimiento en la Planta, se revisa su ejecución respecto a las áreas funcionales evaluando el nivel de cumplimiento con estos criterios.

### 1.6.1. Cálculo de Áreas Funcionales y clasificación de conformidad

Está basada en la Tabla 1.2 de Diagnóstico de la gestión de mantenimiento y desarrollada en la Tabla 1.4. A continuación se detalla el procedimiento de cálculo.

#### 1.6.1.1. Calificación

La calificación de cada función o área, representa la evaluación del grado de implantación, desarrollo, cumplimiento y efectividad de cada área o función.

Para la calificación se puntúa, de acuerdo con la escala más usual, entre cero (muy mal o inexistente) y diez (perfecto).

#### 1.6.1.2. Tratamiento de datos

A continuación se operan los datos de las columnas A, B y C en las columnas D y E del estadillo, según se indica en los respectivos encabezamientos de cada columna.

### 1.6.1.3. Análisis de resultados

Con las valoraciones obtenidas para cada área en la columna D y el total final de la columna E se tiene una medición en expresiones numéricas de la gestión del Mantenimiento.

Estas calificaciones constituyen su "Análisis Espectral" y pueden servir tanto para identificar áreas y funciones de mejora, como para comparar resultados con sucesivos diagnósticos.

En la Tabla 1.3 se expresan los rangos de conformidad basado en el cuestionario aplicado donde se establecen los siguientes valores de referencia

<b>DETERMINACIÓN Y ARGUMENTACIÓN DEL CRITERIO DE NO CONFORMIDAD</b>		
<b>CONFORMIDAD</b>	<b>NO CONFORMIDAD menor</b>	<b>NO CONFORMIDAD MAYOR</b>
<b>&gt; 70%</b> Existen evidencias de que en los aspectos evaluados se cumple con suficiencia para el desarrollo de cada área funcional	<b>40 &lt; NCm &lt; 70%</b> Existen evidencias de que se tienen los elementos requeridos para el desarrollo de cada uno de los aspectos evaluados, según áreas funcionales, pero, requieren ser reforzados, afinados, corregidos	<b>&lt; 40%</b> Se considera un alto nivel de criticidad, reflejado en la evidencia de carencias casi absolutas de cumplimiento en los aspectos evaluados

**Tabla 1.3 Criterios de conformidad**

Tabla 1.4 Calculo de Áreas Funcionales y clasificación de conformidad

% Ponderación Áreas Funcionales A	AREAS FUNCIONALES	% Ponderación Aspectos B	C=CALIFICACION											PROBLEMÁTICA	% Calificaci. AREA D=BxC/10	% Calificaci. MTTO F=AxD/100	CONFORMIDAD		
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				No conformidad Mayor <b>NCM &lt; 40</b>	No conformidad Menor <b>40 &lt; NC &lt; 70</b>	Conformidad <b>C &gt; 70</b>
15	<b>1. ORGANIZACIÓN, PERSONAL, RELACIONES</b>	<b>100</b>															<b>26,5</b>	<b>3,98</b>	NCM
	1.1 Adecuación y balance del Organigrama	20				x										El área de mantenimiento no tiene un organigrama funcional adecuado	6		NCM
	1.2 Directrices de Mantenimiento	15		x												No existe una filosofía de actuación, ni instrucciones ni normativas	1,5		NCM
	1.3 Formación y cualificación	15								x						Existe personal	10,5		C

	del Personal												calificado y con experiencia pero subvalorado			
	1.4 Planes de formación	15		x									No existe o no se conoce, no se ha comunicado	1,5		NCM
	1.5 Motivación del Personal	15		x									No existen programas de motivación, consecuencia de las falencias en los aspectos anteriores	3		NCM
	1.6 Comunicación	20		x									Comunicación deficiente, lo mínimo necesario	4		NCM
20	<b>2. PREPARACIÓN Y PLANIFICACIÓN DEL TRABAJO</b>	<b>100</b>												<b>47,5</b>	<b>9,5</b>	NC
	2.1. Sistemática de órdenes de trabajo (O.T.)	15				x							Se dispone de un software, pero no se usa en su real capacidad	6		NC

2.2. Coordinación de especialidades	15													Existe personal calificado en diferentes especializaciones pero falta coordinar mejor los trabajos	7,5		NC
2.3. Establecimiento de programas	10													no existe retroalimentación ni actualización de las OT	1		NCM
2.4. Definición de materiales	10													Se dispone de un taller con herramientas y algunos insumos, pero todavía hacen falta herramientas y repuestos específicos.	6		NC
2.5 Estimación de tiempos	15													Se registra un tiempo aproximado de ejecución de la tarea pero no existe un estudio de tiempos	7,5		NC
2.6. Estimación de fechas de finalización	10													Se registra la fecha de cierre de una OT	6		NC

	2.7. Recepción de trabajos terminados	15												Luego de cerrada la OT se valida la tarea con firma de responsabilidad de supervisión u operación sin embargo falta afinar este procedimiento para tareas cíclicas	10,5		C
	2.8. Evaluación de necesidades externas	10												Estas necesidades no se planifican, no se estiman	3		NCM
	<b>3. INGENIERIA, INSPECCIÓN, MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>	<b>100</b>													<b>56,5</b>	<b>8,475</b>	NC
<b>15</b>	3.1. Diseño y montaje instalaciones existentes	20												Existe la infraestructura adecuada, sin embargo es necesario llevar adelante proyectos de mejora	12		NC



											departamento de compras de la empresa.				
4.2. Recepción de materiales	20										x	Si se compra a través de este departamento la recepción se hace en bodega y la recepción se realiza contra la revisión de las especificaciones técnicas	14		C
4.3. Locales. Disposición física de los materiales. Localización	20										x	Existe una área para la disposición de materiales y repuestos en el taller de mantenimiento	14		C
4.4. Codificación. Estandarización de recambios	20										x	Si existe codificación, se lleva controles de inventarios pero se puede mejorar el formato de registro	16		C
4.5. Calidad del servicio de los almacenes de mantenimiento	20										x	En el caso de la Planta se realiza un	10		NC



												autoservicio ya que el servicio se hace internamente				
15	<b>5. CONTRATACIÓN</b>	<b>100</b>												<b>75</b>	<b>11,25</b>	NC
	5.1. Política de Contratación de trabajos	25										x	Se realiza la contratación pero no es planificada por lo general responde a mantenimientos correctivos o proyectos de mejora	17,5		C
	5.2. Especificación técnica de los trabajos a contratar.	25										x	Se realiza pero siempre se puede mejorar	20		C
	5.3. Selección de Contratistas	25										x	Generalmente son contratistas calificados y registrados en las lista de proveedores de la empresa	17,5		C
	5.4. Supervisión de Contratistas	25										x	La prestación de servicio o contrato es responsabilidad del Fiscalizador el cual	20		C

														recibe la obra a entera satisfacción del mismo.			
10	<b>6. PRESUPUESTOS DE MANTENIMIENTO</b>	<b>100</b>													<b>37</b>	<b>3,7</b>	NCM
	6.1. Control de Costos	15			x									No se tiene un registro de costos, que bien puede ser un indicador de gestión	3		NCM
	6.2. Preparación de presupuesto anual de Mantenimiento	15			x									Existe poca participación en la elaboración del presupuesto anual para mantenimiento por parte del personal	4,5		NCM
	6.3. Definición de tipos de Mantenimiento. Tratamiento Contable	15			x									No existe desglosado los gastos o tipos de mantenimiento	4,5		NCM
	6.4. Documentos de Gestión Económica	10			x									No existe un registro estándar de control de costos	7		C

	6.5. Informatización del Control de Costes	15													No existe	10,5		C
	6.6. Seguimiento y Control de Costes.	15													No existe	3		NCM
	6.7. Existencia y evolución de índices económicos.	15													No existen	4,5		NCM
	<b>7. EFICIENCIA</b>	<b>100</b>														<b>52</b>	<b>7,8</b>	NC
15	7.1. Duración de los trabajos de Mantenimiento	15													No existe procedimientos de las tareas a realizar en las OT por lo tanto no se tiene un tiempo referencial calculado para dicha tarea	4,5		NCM
	7.2. Rendimiento de la Mano de Obra	15													Al no tener tiempos, tampoco se puede valorar el rendimiento de la mano de obra.	6		NC
	7.3. Cumplimiento de los plazos	15													Para cerrar una OT la tarea debe estar realizada, en este	9		NC

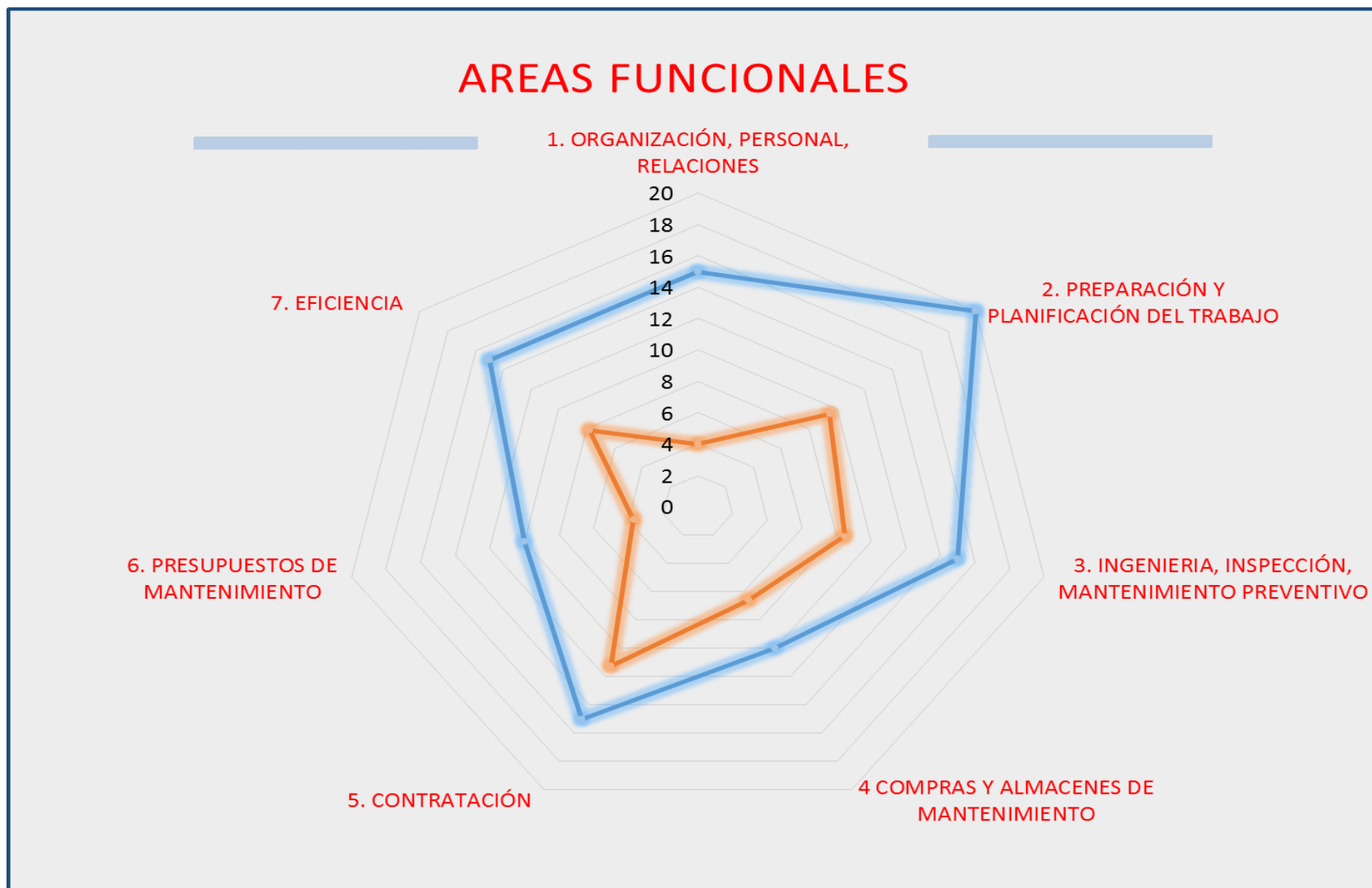
													sentido los plazos si se cumplen, pero depende del ejecutante. En el caso de un contrato, este puede aplicar multa por falta de cumplimiento en los plazos de entrega			
7.4. Calidad de los trabajos realizados	15												En general los trabajos son realizados a satisfacción del cliente	9		NC
7.5. Coste de los trabajos realizados	15												Los trabajos se ejecutan con fallas en el control de programación, duración y calidad de los trabajos, naturalmente estas realidades elevan los costos	7,5		NC
7.6. Estado de las Instalaciones-Averías	10												El estado de las instalaciones es	7		C

											adecuado, se presentan algunos problemas en ciertas áreas, concernientes a servicios e instalaciones auxiliares			
	7.7. Calidad de servicio	15									La capacitación, la programación, los métodos de trabajo, la estructura de equipos de trabajo y especialización podría mejorarse	9		NC

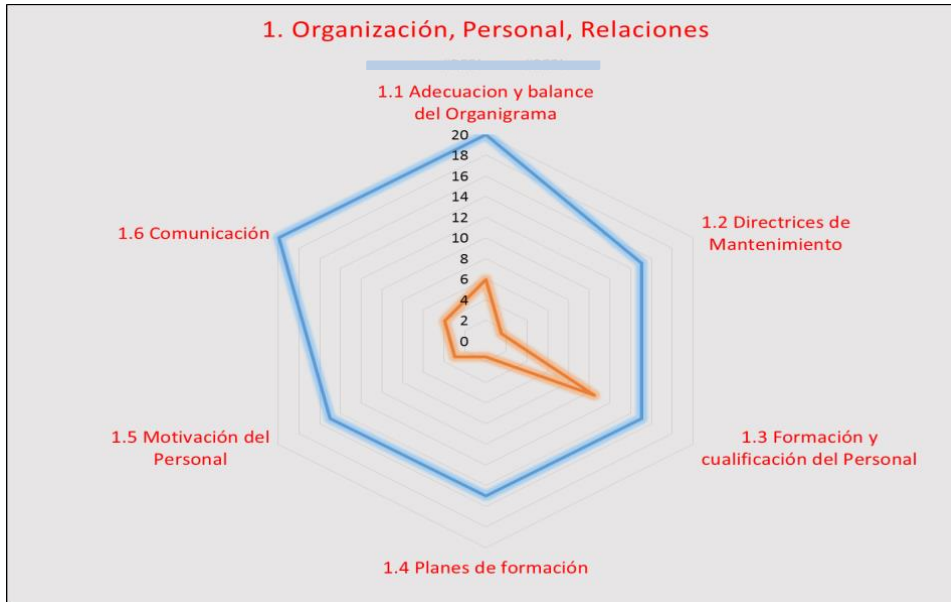
**1.6.2. Resultados de las áreas funcionales y a su vez cada una de ellas representadas en diagramas de radar.**

Desarrollado los cuestionarios de las áreas funcionales es conveniente representar los resultados obtenidos de una forma gráfica y pedagógica (Gráficos 1.2 al 1.9) tanto para el personal directo de mantenimiento como para elevar las propuestas y conclusiones a la alta dirección.

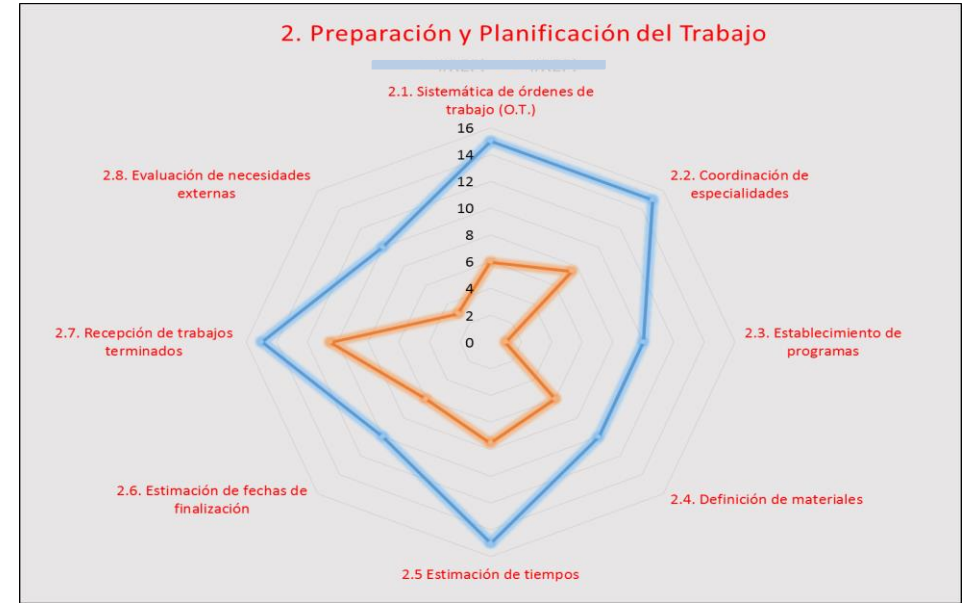
Los resultados se presentan en diagrama de radar de los siete bloques temáticos abordados, un general donde se observa todas las áreas funcionales y cada una de las siete áreas respecto a sus funciones de actuación. (González, 2004)



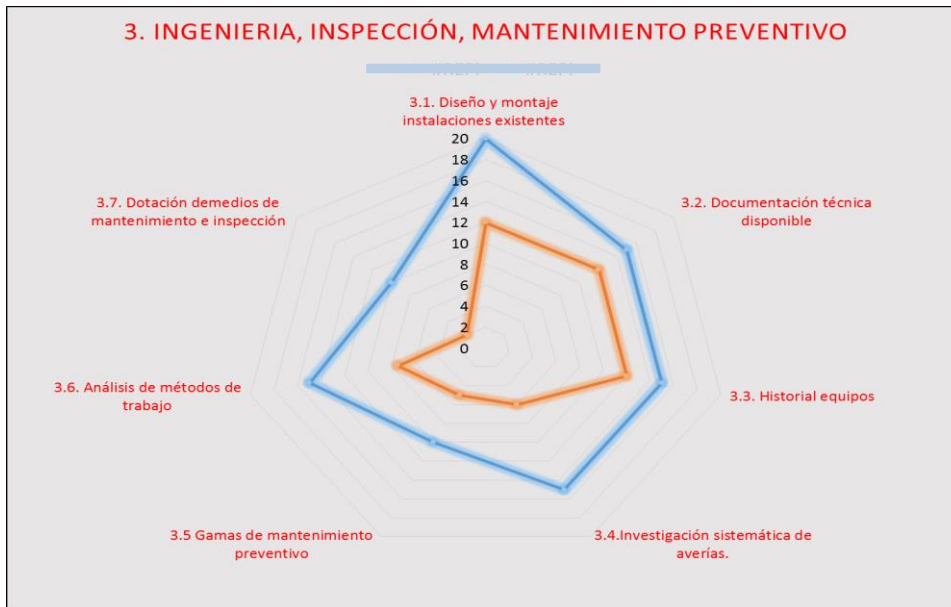
**Gráfico 1.2 Diagrama de Radar. Representación general de Áreas Funcionales**



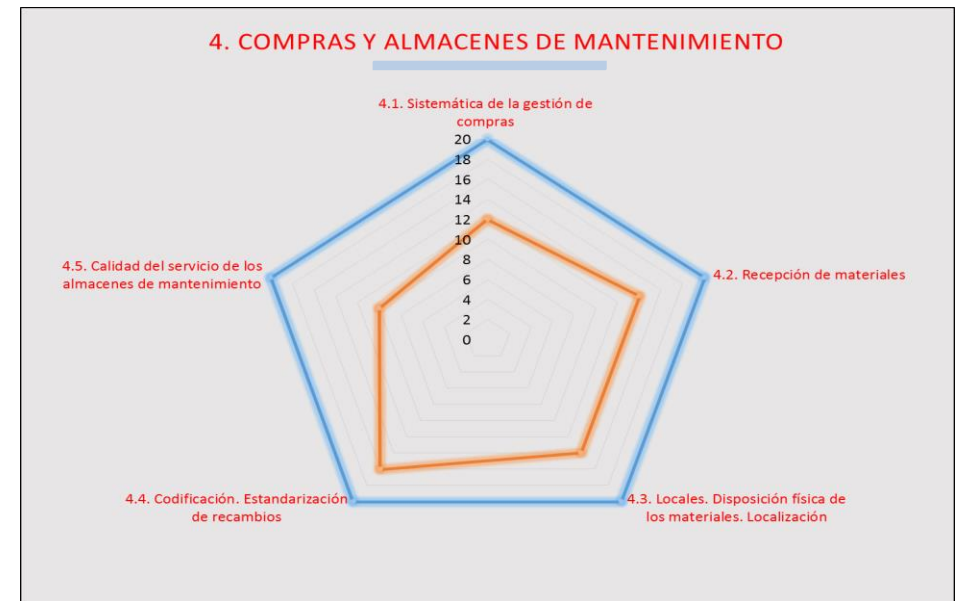
**Gráfico 1.3 Diagrama de Radar. Organización, Personal, Relaciones**



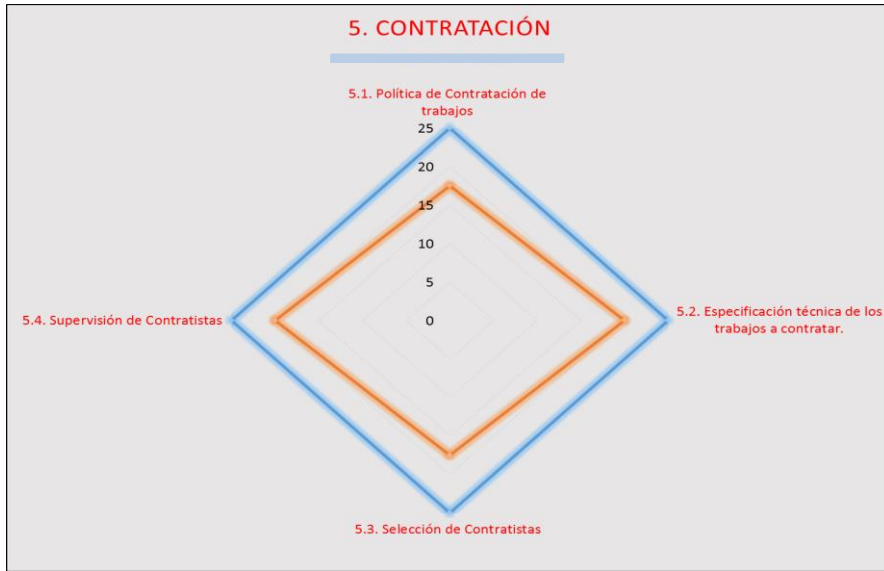
**Gráfico 1.4 Diagrama de Radar. Preparación y planificación del Trabajo**



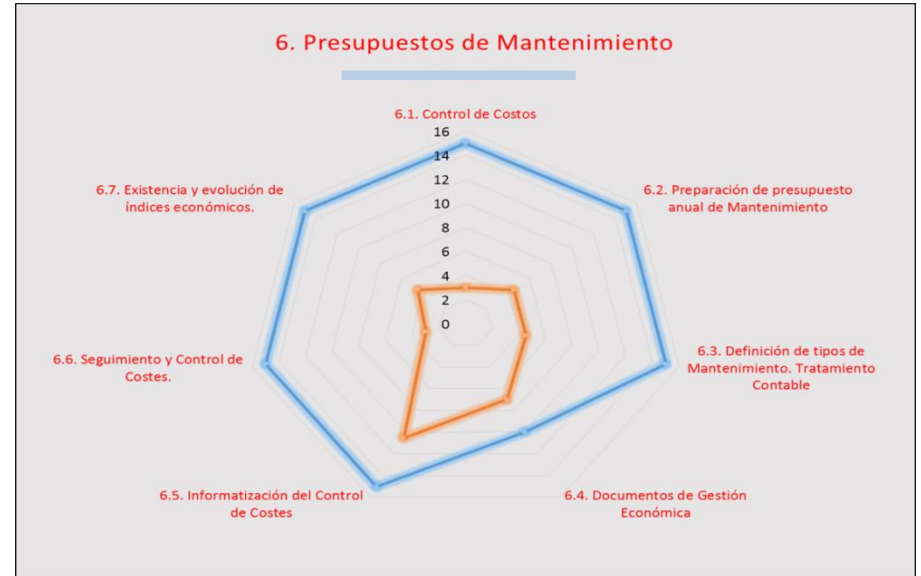
**Gráfico 1.5 Diagrama de Radar. Ingeniería, Inspección, Mantenimiento**



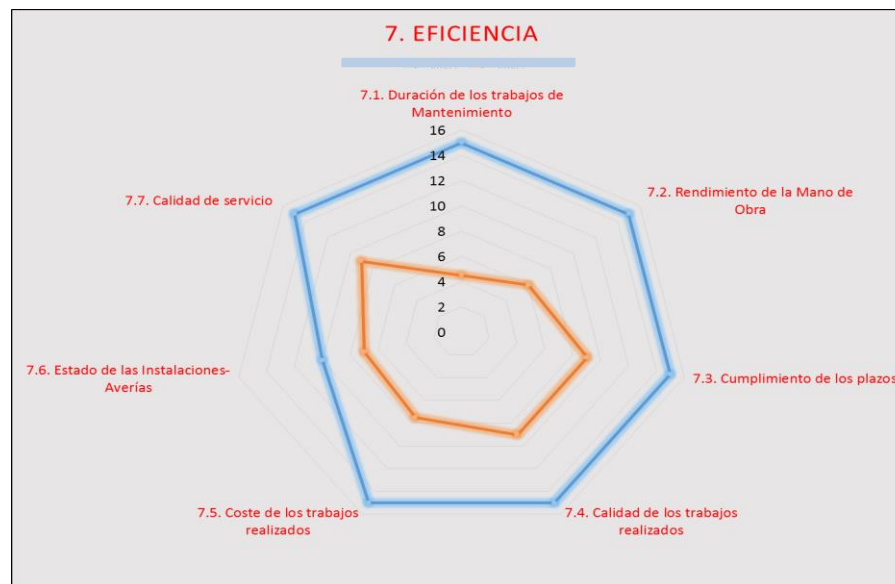
**Gráfico 1.6 Diagrama de Radar. Compras y Almacenes de**



**Gráfico 1.7 Diagrama de Radar. Contratación**



**Gráfico 1.8 Diagrama de Radar. Presupuestos de Mantenimiento**



**Gráfico 1.9 Diagrama de Radar. Eficiencia**



### 1.6.3. Plan de acción

El Plan de Acción (Tabla 1.5) contempla, las actividades recomendadas o propuestas, un responsable para su realización y una fecha máxima en la que deberá llevarse a cabo cada una de las acciones. La ausencia de este apartado destinado a definir plazos y responsabilidades hará que las acciones se diluyan y que no haya un compromiso claro para implantar esas mejoras. (García, 2009)

**Tabla 1.5 Planes de Acción Respecto a tipo de conformidad.**

% Ponderación Áreas A	AREAS/FUNCIONALES/Aspectos a evaluar	CONFORMIDAD			PLAN DE ACCION		
		No conformidad Mayor	No conformidad Menor	Conformidad	ACTIVIDAD	DURACION	RESPONSABLE
		< 40	< 70	> 70			
15	<b>1. ORGANIZACIÓN, PERSONAL, RELACIONES</b>						
	1.1 Adecuación y balance del Organigrama	NCM	Reestructurar el organigrama, acorde a las necesidades y realidad de la empresa.	3 meses	Gerencia /Supervisor de Mantenimiento / Ing. De Mantenimiento		

	1.2 Directrices de Mantenimiento	NCM	Realizar los análisis y estudios necesarios para tener una política de mantenimiento con directrices y planeación claros a corto y largo plazo	1 año	Supervisor de Mantenimiento /Ing de Mantenimiento
	1.3 Formación y cualificación del Personal	C	Revisar perfiles del personal y reforzar las áreas que se necesitan para su adecuado desempeño	1 año	Talento Humano/Supervisor de Mantenimiento
	1.4 Planes de formación	NCM	Implementar plan de capacitación en referencia a la especialización requerida para el perfil y revisada con cada uno del personal	6 meses	Talento Humano
	1.5 Motivación del Personal	NCM	Implementar políticas de incentivos y reconocimientos al personal, remuneración en función del rendimiento y cumplimiento de objetivos	1 año	Gerencia General /Supervisor de Mantenimiento

	1.6 Comunicación	NCM	Realizar reuniones de trabajo periódicamente, es importante para coordinar necesidades, falencias, requerimientos, etc.	1 año	Todos
<b>20</b>	<b>2. PREPARACIÓN Y PLANIFICACIÓN DEL TRABAJO</b>				
	2.1. Sistemática de órdenes de trabajo (O.T.)	NC	Retroalimentar información a software para tener OT más precisas	1 año	Ingeniero asistente de mantenimiento
	2.2. Coordinación de especialidades	NC	Elaborar cuadros de competencias por especialidades que estén mejor direccionadas a los requerimientos	3 meses	Ing. De Mantenimiento
	2.3. Establecimiento de programas	NCM	Retroalimentar y mejorar periódicamente los programas de mantenimiento, basados en los análisis realizados	6 meses	Ing. De Mantenimiento/ Ingeniero asistente de mantenimiento
	2.4. Definición de materiales	NC	Elaborar una lista para tener en stock de los materiales e	3 meses	Ing. De Mantenimiento

			insumos requeridos según tipos de trabajos		
	2.5 Estimación de tiempos	NC	Realizar análisis de tiempos y movimientos	6 meses	Ing. De Mantenimiento
	2.6. Estimación de fechas de finalización	NC	Desarrollo de programación, realizar seguimiento de OT	6 meses	Supervisor de Mantenimiento
	2.7. Recepción de trabajos terminados	C	Elaborar un protocolo para la recepción de trabajos externos terminados	3 meses	Supervisor de Mantenimiento /Ing de Mantenimiento
	2.8. Evaluación de necesidades externas	NCM	Calcular la carga de trabajo para identificar necesidades de contratistas externos	6 meses	Supervisor de Mantenimiento
<b>10</b>	<b>3. INGENIERIA, INSPECCIÓN, MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>				
	3.1. Diseño y montaje instalaciones existentes	NC	Realizar una inspección de la planta para determinar los requerimientos en cuanto a mantenimiento, producción, instalaciones y adecuaciones, por áreas funcionales	1 año	Supervisor de Mantenimiento /Ing de Mantenimiento

	3.2. Documentación técnica disponible	C	Actualizar o corregir en caso de ser necesario	3 meses	Ingeniero asistente de mantenimiento
	3.3. Historial equipos	C	Actualizar o corregir en caso de ser necesario	4 meses	Ingeniero asistente de mantenimiento
	3.4. Investigación sistemática de averías.	NC	Implementar una metodología de análisis causa raíz	2 años	Ing. De Mantenimiento
	3.5 Gamas de mantenimiento preventivo	NC	Realizar un análisis de la planificación, programación e instructivos relacionados con el mantenimiento preventivo	1 año	Supervisor de Mantenimiento /Ing de Mantenimiento
	3.6. Análisis de métodos de trabajo	NC	Revisar cada OT e incluir procedimientos y métodos de trabajo para dicha orden, cargar a software	2 años	Supervisor de Mantenimiento /Ing de Mantenimiento
	3.7. Dotación de medios de mantenimiento e inspección	NCM	A partir del análisis realizado, implementar herramientas e instrumentos para realizar tareas de mantenimiento basado en condición	1 año	Ing. De Mantenimiento

15	<b>4 COMPRAS Y ALMACENES DE MANTENIMIENTO</b>				
	4.1. Sistemática de la gestión de compras	NC	Actualizar la información referente a proveedores, elaborar protocolos para el proceso de compras en relación a mantenimiento. Trabajar coordinadamente con bodega general.	6 meses	Supervisor de Mantenimiento /Ing de Mantenimiento
	4.2. Recepción de materiales	C	Elaborar procedimiento para la recepción de materiales	3 meses	Supervisor de Mantenimiento /Ing de Mantenimiento
	4.3. Locales. Disposición física de los materiales. Localización	C	Mantener orden y limpieza en esta zona	6 meses	Ingeniero asistente de mantenimiento
	4.4. Codificación. Estandarización de recambios	C	Revisar formato, sugerir mejoras	1 mes	Ingeniero asistente de mantenimiento

	4.5. Calidad del servicio de los almacenes de mantenimiento	NC	Mejorar servicio de acuerdo a especialidades	6 meses	Ingeniero asistente de mantenimiento
<b>15</b>	<b>5. CONTRATACIÓN</b>				
	5.1. Política de Contratación de trabajos	C	Elaborar listado con las prioridades de los trabajos a realizar	3 meses	Supervisor de Mantenimiento
	5.2. Especificación técnica de los trabajos a contratar.	C	Analizar los lineamientos establecidos para realizar contratos, identificar errores en los pliegos, afinar procedimientos	6 meses	Supervisor de Mantenimiento /Ing de Mantenimiento
	5.3. Selección de Contratistas	C	Elaborar un procedimiento de evaluación, calificación y selección de contratistas	1 mes	Ing. De Mantenimiento
	5.4. Supervisión de Contratistas	C	Elaborar un procedimiento y registro de inspección y supervisión de contratistas	1 mes	Ing. De Mantenimiento

<b>10</b>	<b>6. PRESUPUESTOS DE MANTENIMIENTO</b>				
	6.1. Control de Costos	NCM	Registrar los costos relacionados con mantenimiento respecto a cada activo fijo	1 año	Supervisor de Mantenimiento
	6.2. Preparación de presupuesto anual de Mantenimiento	NCM	Elaborar un presupuesto con el personal de mtto de acuerdo a planificación y requerimientos	3 meses	Supervisor de Mantenimiento /Ing de Mantenimiento
	6.3. Definición de tipos de Mantenimiento. Tratamiento Contable	NCM	Verificar la asignación de gastos a los rubros correspondientes, realizar el desglose y la estructura del balance de costos, determinar costos unitarios por rubros	1 año	Ingeniero asistente de mantenimiento
	6.4. Documentos de Gestión Económica	C	Aprovechar la herramienta de costos del Software de mtto.	6 meses	Ingeniero asistente de mantenimiento
	6.5. Informatización del Control de Costes	C	Aprovechar la herramienta de costos del Software de mtto.	6 meses	Ingeniero asistente de mantenimiento



	6.6. Seguimiento y Control de Costes.	NCM	Aprovechar la herramienta de costos del Software de mto.	6 meses	Ingeniero asistente de mantenimiento
	6.7. Existencia y evolución de índices económicos.	NCM	Elaborar índices de gestión económica	3 meses	Supervisor de Mantenimiento /Ing de Mantenimiento
<b>15</b>	<b>7. EFICIENCIA</b>				
	7.1. Duración de los trabajos de Mantenimiento	NCM	Desarrollar la programación de los trabajos dentro de la planificación, para facilitar el control de la duración	1 año	Supervisor de Mantenimiento /Ing de Mantenimiento
	7.2. Rendimiento de la Mano de Obra	NC	Registrar la información relacionada con la ejecución de tareas, que contraste con los requerimientos mínimos establecidos en la programación	1 año	Ingeniero asistente de mantenimiento

	7.3. Cumplimiento de los plazos	NC	Desarrollar la programación de los trabajos dentro de la planificación, para facilitar el control de la duración	1 año	Ing. De Mantenimiento
	7.4. Calidad de los trabajos realizados	NC	Elaborar protocolos de Inspección y supervisión de ejecución de trabajos. Registrar información para evaluación	3 meses	Ing. De Mantenimiento
	7.5. Coste de los trabajos realizados	NC	Elaborar protocolos de Inspección y supervisión de ejecución de trabajos. Registrar información para evaluación	3 meses	Supervisor de Mantenimiento /Ing de Mantenimiento
	7.6. Estado de las Instalaciones-Averías	C	Chequear instalaciones periódicamente	1 mes	Supervisor de Mantenimiento /Ing de Mantenimiento
	7.7. Calidad de servicio	NC	Elaborar protocolos de Inspección y supervisión de ejecución de trabajos. Registrar información para evaluación	3 meses	Supervisor de Mantenimiento
<b>100</b>					

#### 1.6.4. Grado de madurez.

Proporciona elementos de entrada para aumentar el desempeño del sistema de gestión mantenimiento de la organización. Se trata de una evaluación llevada a cabo habitualmente por la propia dirección de la organización, que resulta en una opinión o un juicio de la eficacia y eficiencia de la organización y de la madurez del sistema de gestión de mantenimiento.

Evaluación cualitativa de mantenimiento basada en ISO 9004 (Tabla 1.6)

**Tabla 1.6 Matriz de autoevaluación cualitativa de mantenimiento. Grado de madurez**

	<b>FASE 1</b>	<b>FASE 2</b>	<b>FASE 3</b>	<b>FASE 4</b>	<b>FASE 5</b>
<b>Aptitud Gerencial</b>	No existe el concepto de prevención, solo se corrige cuando sea necesario.	Reconoce que el mantenimiento podría mejorar, pero aún no hay decisiones claras al respecto.	Comienza a aprender sobre el impacto del mantenimiento en la Rentabilidad, se interesa y promueve algunos cambios.	Genera propuestas de mejora del mantenimiento, reconoce que el apoyo de la gerencia es de vital.	Incluye y reconoce al mantenimiento como parte de los objetivos del negocio.
<b>Status de la organización Mantenimiento</b>	Reactiva: trabajar sobre los equipos cuando estos fallan de forma imprevista, reparar cuando se rompa	Consciente: se mantiene corrigiendo fallos pero tiene ahora repuestos y realiza algunos mantenimientos	Preventiva: aplica rutinas preventivas por tiempo de inspección, lubricación, ajustes y servicios menores	Predictiva: aplica técnicas de diagnóstico de vibración, termografía, ultrasonido, etc., para monitorear la condición	Proactiva: define y prioriza las actividades de mantenimiento en función de las consecuencias de los

		mayores		de algunos equipos. Realiza análisis de fallos repetitivos y ACR	fallos y desarrolla modelos de decisión que incluyen el riesgo
<b>Costes totales Mantenimiento/ costos totales de producción</b>	>30%	20-30%	10-20%	5-10%	<5%
<b>Formas de resolver los problemas</b>	Los problemas se resuelven según como vayan apareciendo	Se reparan los fallos en tiempos cortos. Se inician algunos análisis de fallos por Mantenimiento	Problemas analizan y se resuelven con información proveniente de mantenimiento y operaciones	Problemas se analizan a partir del esfuerzo de equipos de trabajo (operaciones, mantenimiento, ingeniería, logística, proyectos, fabricante, etc.)	Problemas se analizan por equipos de trabajo, se evalúan los riesgos y se previenen los problemas que afectan la rentabilidad del negocio

<p><b>Calificación y adiestramiento del personal de mantenimiento</b></p>	<p>Trabajos de baja calidad son aceptados, entrenamiento se considera innecesario, ausencia de procedimientos, herramientas en mal estado</p>	<p>Se reconoce la falta de adiestramiento, se identifican las herramientas obsoletas, se identifican algunos procedimientos de trabajo</p>	<p>Se entiende la importancia de la calidad en el mantenimiento., se definen los roles y procedimientos de trabajo, se desarrollan algunas habilidades críticas, anualmente se considera un presupuesto para adiestramiento</p>	<p>Se definen procedimientos de certificación de calidad en mantenimiento, se desarrolla personal con multihabilidades, el entrenamiento se define por decide por necesidades para mejorar desempeño</p>	<p>Altos estándares de calidad en la ejecución del mantenimiento, el adiestramiento se visualiza como una inversión y se planifica en función del impacto económico de cada área. Alta flexibilidad para la ejecución del mantenimiento</p>
<p><b>Manejo de la información y toma de decisiones</b></p>	<p>No se maneja ningún registro de mantenimiento, la poca información que se recopila es de baja calidad</p>	<p>Se utiliza un sistema manual o computarizado muy sencillo, no hay apoyo del sistema para planificar actividades</p>	<p>Se utiliza un sistema que permite desarrollar órdenes de trabajo de mantenimiento., se hace seguimiento a los costos totales, (solo</p>	<p>Se utiliza un sistema computarizado de control del mantenimiento que involucra a Mantenimiento y operaciones, se</p>	<p>Se tiene un sistema de gestión del mantenimiento integrado con todas las áreas del negocio (finanzas,logística, materiales, operación,</p>



La matriz de autoevaluación muestra que la empresa se encuentra entre los niveles dos y tres, esto en general implica un cambio de actitud a través de la concientización del todo el personal de la planta, pero como principal objetivo implicar a la alta gerencia para aplicar nuevas metodologías que sustentan el mejoramiento continuo. El camino a seguir a posterior será generar un plan de capacitación adecuado para potenciar las habilidades dentro de los procesos de mantenimiento.

#### **1.6.5. Conclusiones del Capítulo.**

En la presente auditoría se realizó un diagnóstico inicial, que permite evidenciar que la empresa se encuentra en un proceso de crecimiento en todas las áreas funcionales, con la presencia de inconformidades mayores y menores que deben ser atendidas según su nivel de criticidad. Las No Conformidades se consideran como oportunidades de mejora, las que pueden ser corregidas, siguiendo metodologías para implementar mejoras en la organización, ejecución y control de la función de mantenimiento y las actividades propias de su naturaleza, mejoras que se relacionan con la implementación de estrategias como TPM (Mantenimiento Productivo Total), RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad), MBC (Mantenimiento basado en condición). La responsabilidad de la implementación del Plan de Acción debe ser asignada a un equipo de trabajo que disponga de la debida formación técnica y experiencia profesional, que alcance el compromiso de todos los miembros de la organización y sirvan de soporte para concretar los objetivos trazados en el plan.

Los resultados de la auditoría se indican en la siguiente tabla, que tabula en porcentaje el número de NCM (No conformidad mayor), NC (No conformidad) y C (Conforme), respecto a la cantidad de actividades presentes en cada área, adicionalmente los resultados en los diagramas de radar se observa gráficamente la situación real en cada Área Funcional, siendo las Áreas Funcionales 1 y 6 las más críticas, seguidas por las Áreas 2, 3 y 7 como semicríticas y las Áreas 4 y 5 como no críticas.

En la tabla 1.7 se muestran los resultados en porcentajes respecto al tipo de conformidad.

AREAS FUNCIONALES \ % DE CRITERIO	% DE NO CONFORMIDAD MAYOR	% DE NO CONFORMIDAD MENOR	% DE CONFORMES
<b>1. ORGANIZACIÓN, PERSONAL, RELACIONES</b>	<b>83.3%</b>	<b>16.7%</b>	<b>0%</b>
<b>2. PREPARACIÓN Y PLANIFICACIÓN DEL TRABAJO</b>	<b>25%</b>	<b>62.5%</b>	<b>12.5%</b>
<b>3. INGENIERIA, INSPECCIÓN, MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>	<b>14.3 %</b>	<b>57.1%</b>	<b>28.6%</b>
<b>4 COMPRAS Y ALMACENES DE MANTENIMIENTO</b>	<b>0%</b>	<b>40%</b>	<b>60%</b>
<b>5. CONTRATACIÓN</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>100%</b>
<b>6. PRESUPUESTOS DE MANTENIMIENTO</b>	<b>71.4%</b>	<b>0%</b>	<b>28.6%</b>
<b>7. EFICIENCIA</b>	<b>14.3%</b>	<b>71.4%</b>	<b>14.3%</b>

**Tabla 1.7 Porcentajes de conformidad de cada área funcional**

A partir de este análisis se debe implementar un plan de auditorías en donde se verifique el cumplimiento de las actividades y el nuevo cálculo para actualizar el nivel de conformidad y con esto la oportunidad de tener una mejora continua basada en el ciclo de la calidad que es ACTUAR – PLANIFICAR – HACER – VERIFICAR.



## CAPITULO 2

### 2. ANALISIS DE CRITICIDAD A LOS EQUIPOS DE LA PTAP DE SUSTAG

#### 2.1. ANTECEDENTES

El análisis de criticidad es una herramienta de la confiabilidad operacional que permiten identificar y jerarquizar los activos de una instalación por su importancia, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos (humanos, económicos y tecnológicos) en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la Confiabilidad Operacional, basado en la realidad actual. En otras palabras, el proceso de análisis de criticidad ayuda a 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. (Palencia, 2013)

¿Cómo establecer que una planta, proceso, sistema o equipo es más crítico que otro? ¿Qué criterio se debe utilizar? ¿Todos los que toman decisiones, utilizan el mismo criterio?, el Análisis de Criticidad da respuesta a estas interrogantes, dado que genera una lista ponderada desde el elemento más crítico hasta el menos crítico del total del universo analizado, diferenciando tres zonas de clasificación: alta criticidad, mediana criticidad y baja criticidad.

Una vez identificadas estas zonas, es mucho más fácil diseñar una estrategia, para realizar estudios o proyectos que mejoren la Confiabilidad Operacional, iniciando las aplicaciones en el conjunto de procesos o elementos que formen parte de la zona de alta criticidad.

Los criterios para realizar un Análisis de Criticidad están asociados con: seguridad, ambiente, producción, costos de operación y mantenimiento, rata de fallas y tiempo de reparación, principalmente. Estos criterios se relacionan con una ecuación matemática, que genera puntuación para cada elemento evaluado. La lista generada, resultado de un trabajo de equipo, permite nivelar y homologar criterios para

establecer prioridades y focalizar el esfuerzo que garantice el éxito maximizando la rentabilidad.

La información recolectada en el estudio podrá ser utilizada para: [2]

- Priorizar órdenes de trabajo de operaciones y mantenimiento.
- Priorizar proyectos de inversión.
- Diseñar políticas de mantenimiento.
- Seleccionar una política de manejo de repuestos y materiales.
- Dirigir las políticas de mantenimiento hacia las áreas o sistemas más críticos.

El Análisis de Criticidad aplica en cualquier conjunto de procesos, plantas, sistemas, equipos y/o componentes que requieran ser jerarquizados en función de su impacto en el proceso o negocio donde formen parte. Sus áreas comunes de aplicación se orientan a establecer programas de implantación y prioridades en los siguientes campos: (PDVSA, 1999)

- Mantenimiento
- Inspección
- Materiales
- Disponibilidad de planta
- Personal.

En el ámbito de **mantenimiento**. Al tener plenamente establecido cuales sistemas son más críticos, se puede establecer de una manera más eficiente la priorización de los programas y planes de mantenimiento de tipo: predictivo, preventivo, correctivo, detectivo e inclusive posibles rediseños al nivel de procedimientos y modificaciones menores; inclusive permitirá establecer la prioridad para la programación y ejecución de órdenes de trabajo.

En el ámbito de **inspección**. El estudio de criticidad facilita y centraliza la implantación de un programa de inspección, dado que la lista jerarquizada indica donde vale la pena realizar inspecciones y ayuda en los criterios de selección de los intervalos y tipo de inspección requerida para sistemas de protección y control

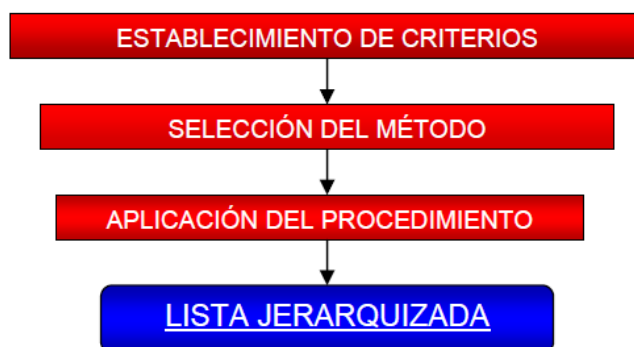
(presión, temperatura, nivel, velocidad, espesores, flujo, etc.), así como para equipos dinámicos, estáticos y estructurales.

En el ámbito de **materiales**. La criticidad de los sistemas ayuda a tomar decisiones más acertadas sobre el nivel de equipos y piezas de repuesto que deben existir en el almacén central, así como los requerimientos de partes, materiales y herramientas que deben estar disponibles en los almacenes de planta, es decir, se puede minimizar el stock de materiales y repuestos de cada sistema y/o equipo logrando un costo óptimo de inventario.

En el ámbito de **disponibilidad de planta**. Los datos de criticidad permiten una orientación certera en la ejecución de proyectos, dado que es el mejor punto de partida para realizar estudios de inversión de capital y renovaciones en los procesos, sistemas o equipos de una instalación, basados en el área de mayor impacto total, que será aquella con el mayor nivel de criticidad.

A nivel del **personal**. Un buen estudio de criticidad permite potenciar el adiestramiento y desarrollo de habilidades en el personal, dado que se puede diseñar un plan de formación técnica, artesanal y de crecimiento personal, basado en las necesidades reales de la instalación, tomando en cuenta primero las áreas más críticas, que es donde se concentran las mejores oportunidades iniciales de mejora y de agregar el máximo valor.

Un modelo básico de Análisis de Criticidad es equivalente al mostrado en Gráfico 2.1. Para la selección del método de evaluación se toman criterios de ingeniería, factores de ponderación y cuantificación. Para la aplicación de un procedimiento definido se trata del cumplimiento de la guía de aplicación que se haya diseñado. Por último, la lista jerarquizada es el producto que se obtiene del análisis.



*Fuente: PDVSA E & P Occidente 2002.*

**Gráfico 2.1 Modelo básico de criticidad**

## **2.2. PRECONDICIONES PARA EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD**

Antes de comenzar el Análisis de Criticidad, es necesario tener en cuenta aspectos importantes de la PTAP de Sustag a la cual se le va a aplicar el estudio, como son el conocimiento de la información técnica de los sistemas y equipos involucrados en el proceso así como las instalaciones del equipamiento en los respectivos edificios de la Planta.

### **2.6.1. Proceso general del Tratamiento de Agua Potable**

El tratamiento comienza con la captación de agua del Río Yanuncay el cual pasa por las primeras unidades que son el desripador y luego el desarenador para luego mediante una conducción ingresa el agua cruda a la Planta.

La línea convencional de producción corresponde a: Mezcla rápida (Dosificación de reactivos) – Floculación Mecánica – Floculación Hidráulica – Sedimentación – Filtración – Cámara de contacto (Desinfección) – Tanque de almacenamiento.

Para tener una idea concreta de las instalaciones de la Planta y la ubicación de los diferentes edificios se presenta un Plano de Implantación General de la PTAP de Sustag (Gráfico 2.2) en donde se puede apreciar las unidades hidráulicas para la producción de la Planta.

Un diagrama de flujo realizado en el software Bisage (Gráfico 2.3), representa el proceso de producción de agua potable en donde en el eje vertical se indican las

etapas de Pretratamiento, Tratamiento y Almacenamiento, y en el eje horizontal se indican las etapas de Disparador de la producción, Ejecución y Cierre.

También se incluye la pantalla principal del Scada (Gráfico 2.4), el cual es un Sistema de monitoreo y control de datos comandado por un PLC maestro y configurado con Win CC., desde donde los operadores controlan los procesos involucrados en el tratamiento.

# PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "SUSTAG". IMPLANTACION GENERAL

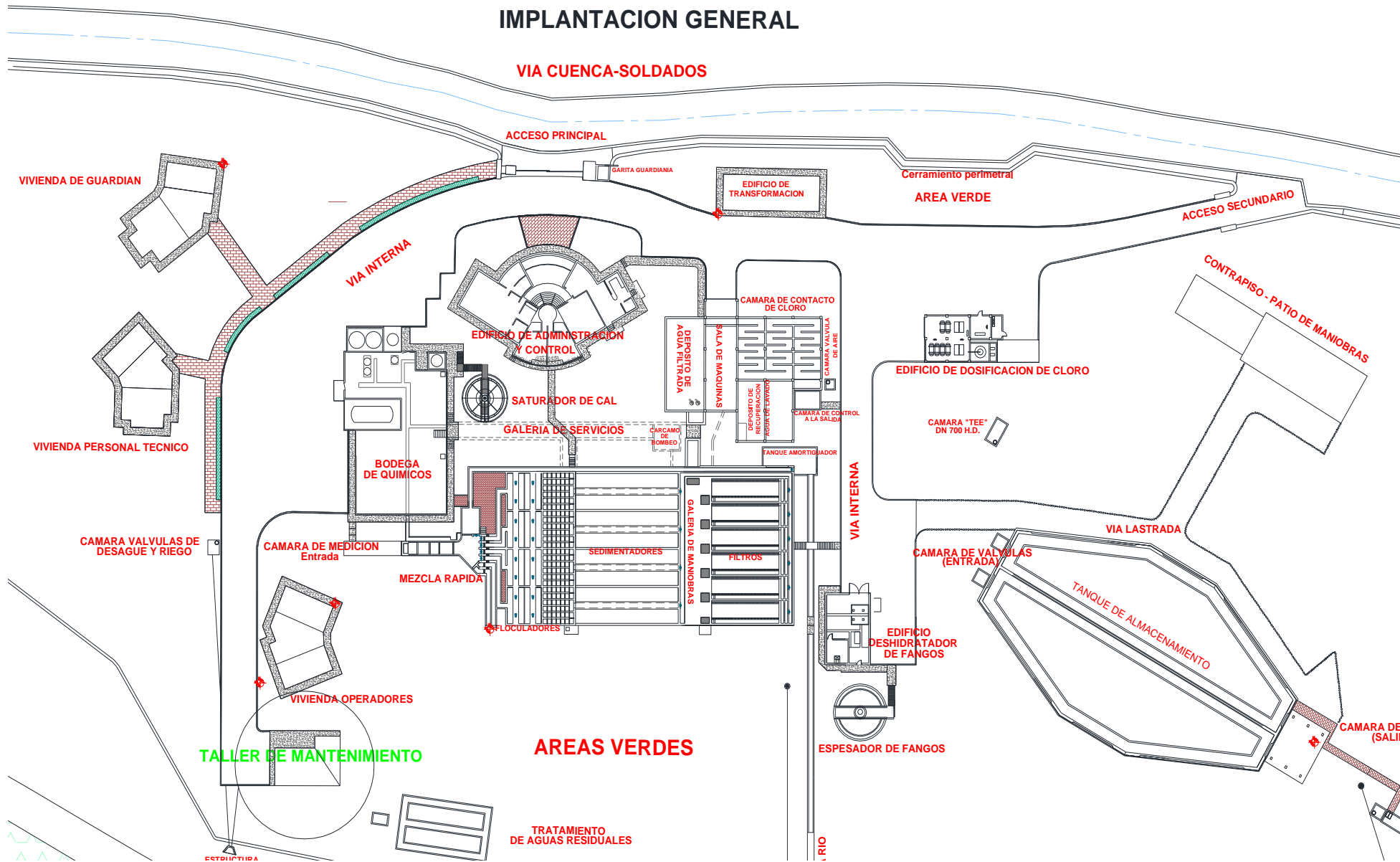


Gráfico 2.2 Plano de Implantación General

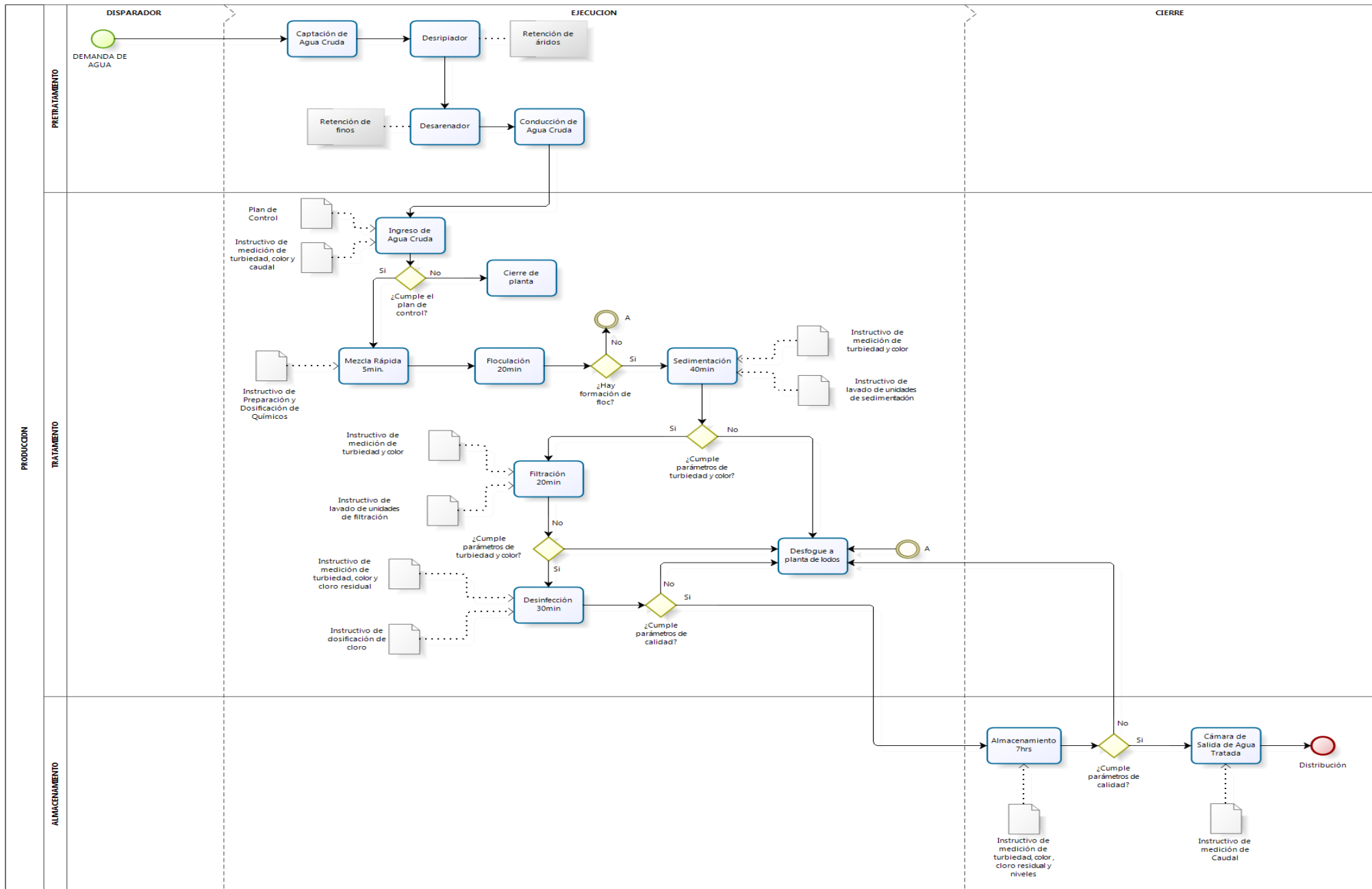


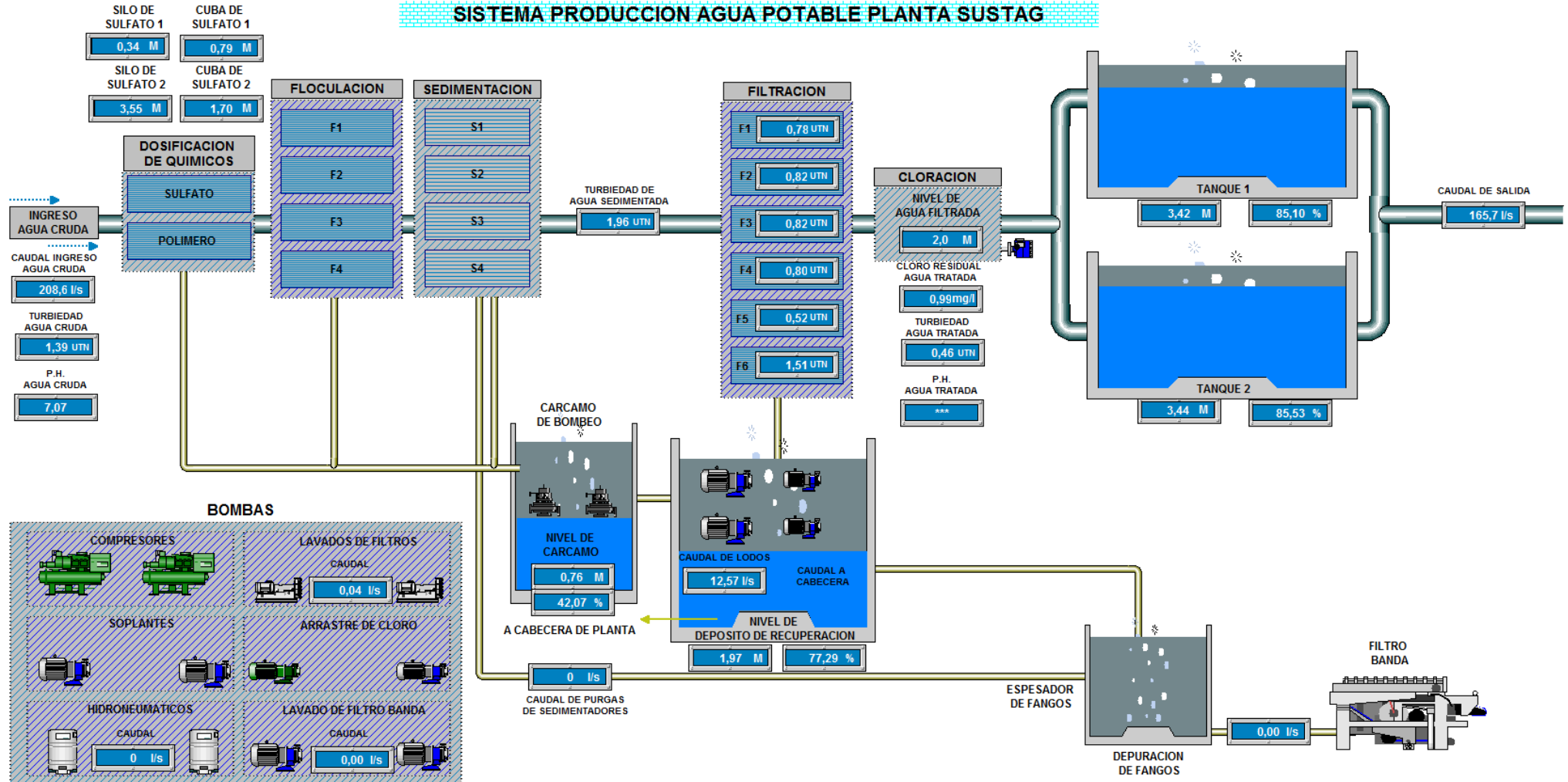
Gráfico 2.3 Diagrama de Flujo Tratamiento de Agua Potable

FILTROS		
FLOCULADORES		
GALERIA FOTOS PLANTA		
SEDIMENTADORES		

ARQUITECTURA		
AYUDA DEL SISTEMA		
HISTORICOS Y TENDENCIAS		
ALARMAS		

CARCAMO DE BOMBEO		
INSTRUMENTACION EN LINEA		
CLORACION		


**SISTEMA PRODUCCION AGUA POTABLE PLANTA SUSTAG**



...	Fecha	Hora	Origen	Área
9	28/01/16	15:38:55,710	BOMBA 2 FALLA	TCMB

Gráfico 2.4 Pantalla Scada Proceso de Tratamiento



## 2.2.2 Descripción técnica de los sistemas y equipos de planta involucrados en el proceso de producción.

Para una mejor comprensión de la PTAP y sus procesos se describe a continuación en un contexto general la estructura funcional de la misma.

El proceso de tratamiento consta de las etapas y operaciones que se van a considerar para la elaboración de la matriz de criticidad y que se describen a continuación.

### 2.2.3.1 REACTIVOS

Dosificación a través de Skid o conjuntos de dosificación de cada uno de los químicos contenidos en este edificio en el que se encuentran además las bodegas de los mismos, equipos para dilución y redes de tuberías que llevan a los diferentes puntos de aplicación. Gráfico 2.5

Almacenamiento, preparación y dosificación de productos químicos:

- Coagulante: Dosificación de Sulfato de aluminio
- Ayudante de coagulación: Dosificación de poli electrólito
- Pre alcalinización: Dosificación de hidróxido de sodio
- Ajuste del pH: Dosificación de ácido clorhídrico
- Ajuste del pH: Dosificación de hidróxido de calcio

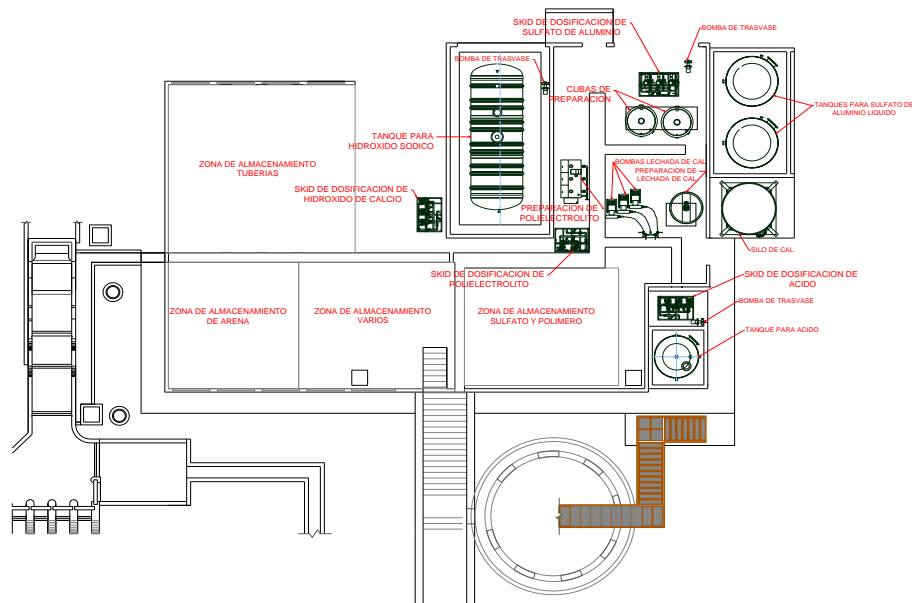


Gráfico 2.5 Edificio de Químicos

### 2.2.3.2 SALA DE MAQUINAS

Todos los requerimientos de Agua y Aire se encuentran atendidos desde este sector de la Planta en el que mediante bombas y compresores se cubren los requerimientos para el proceso. Gráfico 2.6

Consta de los siguientes equipos:

- Bombas para retrolavado de filtros
- Soplantes de baja presión para retrolavado de filtros
- Agitador de cloro. Cámara de contacto
- Conjunto hidroneumático
- Bombas para arrastre de cloro
- Bombas para saturador de cal
- Bombas para lavado de filtro banda
- Compresores de aire de alta presión
- Bombas sumergibles retorno a cabecera de planta
- Bombas sumergibles lodos a tanque espesador
- Bombas sumergibles cárcamo de bombeo
- Polipasto de 1 Ton.

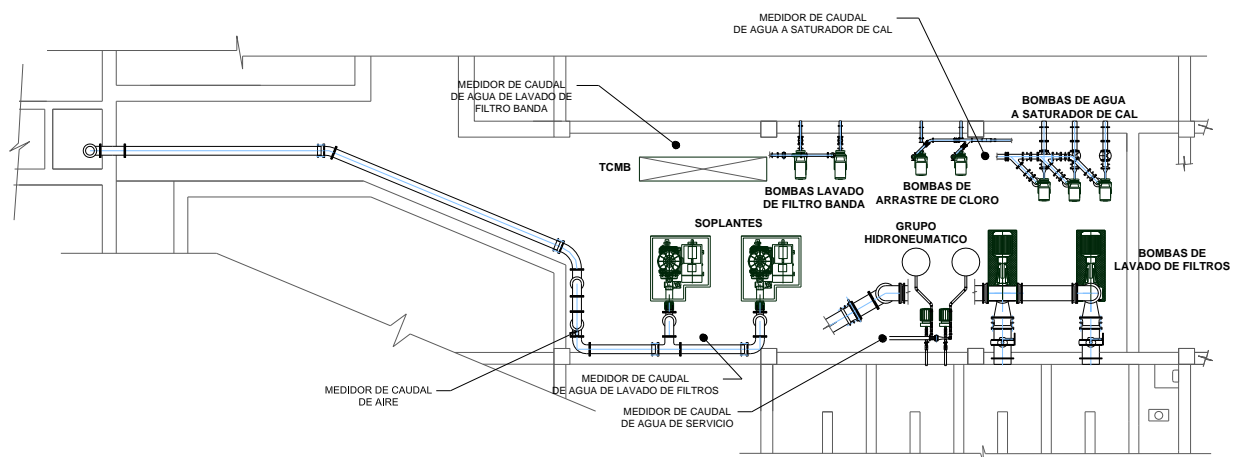


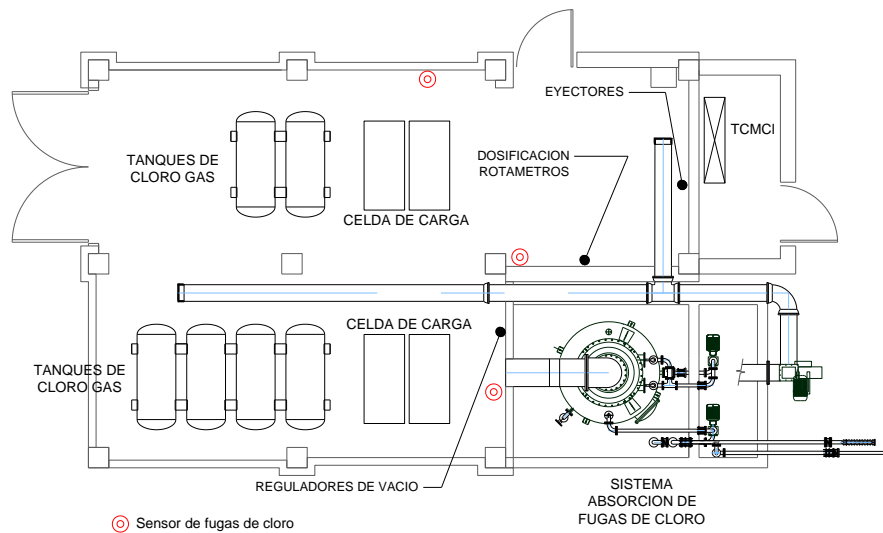
Gráfico 2.6 Casa de Máquinas

### 2.2.3.3 CLORACION

El almacenamiento de cloro se efectúa en contenedores de 1000 Kg. de capacidad, ubicados en el edificio de cloración, provista de polipasto para su movilización.

En este edificio (Gráfico 2.7) se encuentran los siguientes equipos:

- Dosificadores de cloro
- Manifolds de cloro
- Control de fugas de cloro (Scrubber)
- Polipasto de 3Tn.



**Gráfico 2.7 Edificio de Cloración**

Dos bombas centrífugas de ejecución horizontal, que aspiran en carga del Depósito de Agua Filtrada, impulsan el agua necesaria a un caudal y una presión determinados para los eyectores que opera el sistema.

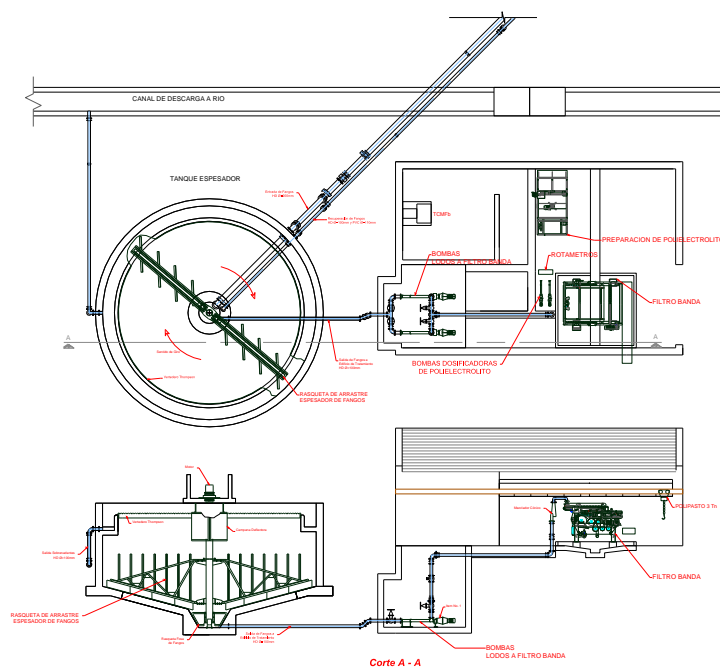
Se dispone una instalación de absorción de fugas de cloro, de funcionamiento automático, situada en el exterior del citado edificio para afrontar la posible contingencia de un escape de cloro gas.

### 2.2.3.4 DESHIDRATACION DE FANGOS

Para evitar el impacto en las aguas de Río Yanuncay del vertido de los fangos producidos en los sedimentadores y los que se producen en el Depósito de

Recuperación provenientes de las aguas de lavado de filtros, se tiene previsto el tratamiento de los fangos mediante un proceso de espesamiento, acondicionamiento, deshidratación en filtro banda y transporte del fango deshidratado a vertedero.

Los fangos procedentes de las purgas de los sedimentadores se conducen por gravedad a través de un colector de 200 mm de diámetro hasta un espesador de gravedad, que consiste en un depósito circular, de 9 m de diámetro, provisto de un canal periférico de recogida de agua sobrenadante mediante vertedero Thompson regulable.



**Gráfico 2.8 Edificio de Deshidratación de Fangos**

El espesador dispone un sistema de arrastre de los fangos sedimentados, consistente en una estructura metálica con rasquetas barreadoras del fondo, accionadas por un moto reductor central soportado en una pasarela de hormigón construía en la parte superior del espesador.

Los sobrenadantes del espesador serán arrojados, ya libres de sólidos, directamente al río mediante el canal aliviadero general de la Planta.

Las bombas de fangos espesados previstas son de tipo de tornillo helicoidal, aspirando del fondo del espesador impulsarán el fango espesado hasta el floculador

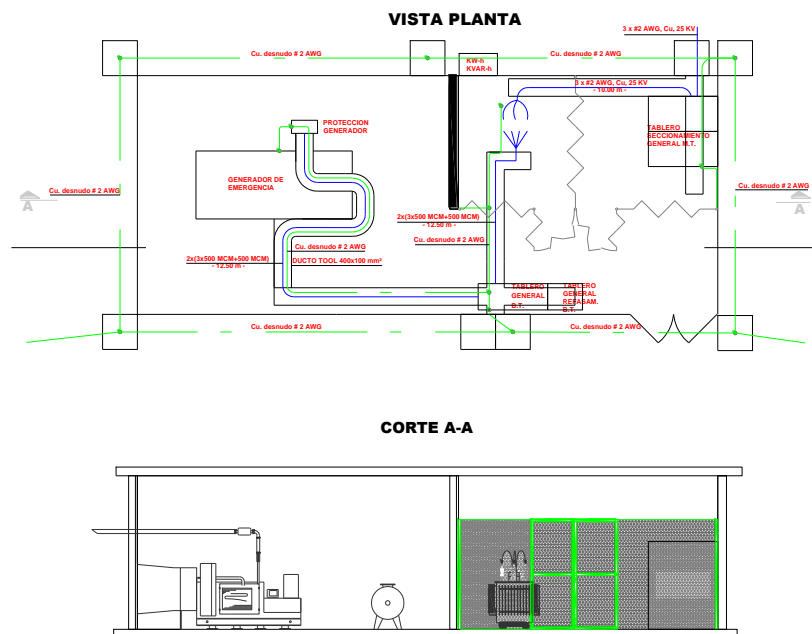
del filtro banda, donde recibirán una solución de poli electrolito en dosis adecuada para el acondicionamiento del fango, de modo que pueda ser procesado en el filtro banda.

En este edificio (Gráfico 2.8) se encuentran los siguientes equipos:

- Filtro banda
- Tanque espesador de fangos
- Bombas para lodos
- Preparación de polímero para Filtro banda
- Bombas de dosificación de polímero a filtro banda
- Polipasto de 3Tn

### 2.2.3.5 GENERACION DE POTENCIA

Grupo electrógeno de emergencia, para servicio automático de 250 Kw. (310 KVA). Dicho grupo electrógeno es capaz de abastecer el funcionamiento normal de la planta. El abastecimiento de combustible para el generador está dado por un tanque de 1500 gl. Con una autonomía aproximada de 8 días de funcionamiento seguido.



**Gráfico 2.9 Edificio de Transformación**

En este edificio (Gráfico 2.9) se encuentran los siguientes equipos:

- Grupo electrógeno. Generador de 300KW
- Transformador
- Seccionador

### **2.2.3.6 PLANTA EN GENERAL**

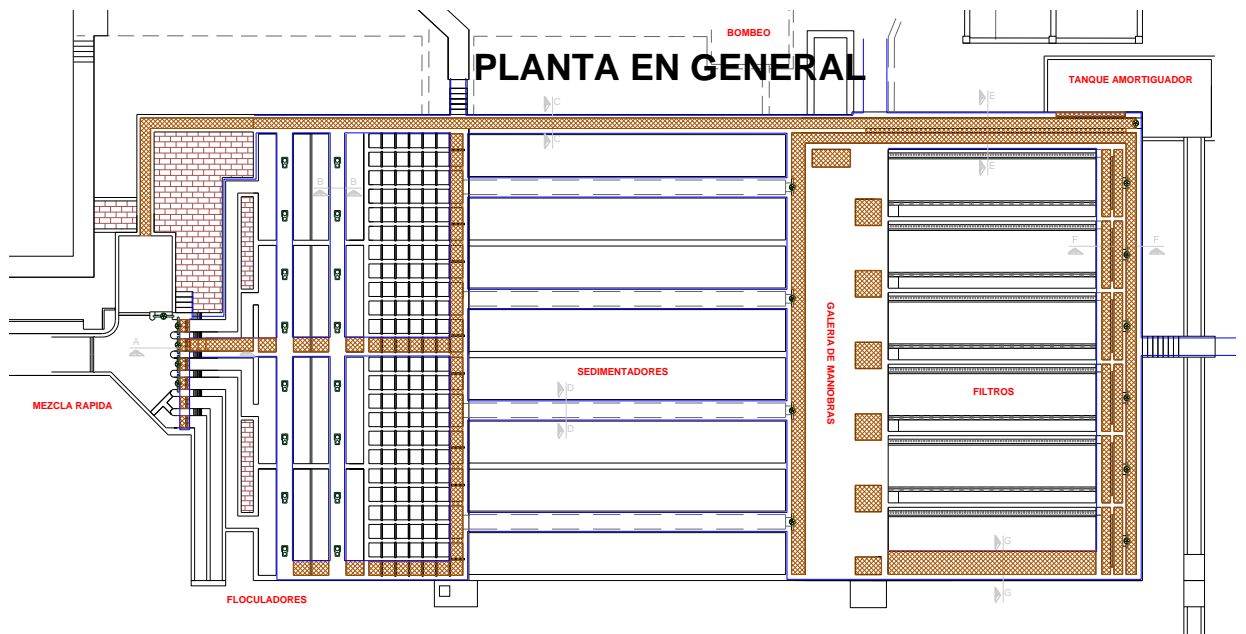
Los floculadores son del “tipo mixto”: mecánico - hidráulico, con una primera cámara de floculación, esta cámara se divide, mediante un panel deflector central de paso inferior de agua, en dos cámaras iguales rectangulares.

Cada floculador tiene mando manual en sitio a través de unos tableros de arranque y paro de los agitadores el cual consta de cuatro agitadores de eje vertical de tipo turbina, con velocidad de giro variable entre 5.7 y 34 rpm. y regulada manualmente mediante variador de frecuencia.

Para las tareas de operación y mantenimiento cada floculador mecánico-hidráulico cuenta con un desagüe de fondo de 100mm protegido con una rejilla, que descarga en una línea común de 200 mm que va a descargar en el cárcamo de bombeo, la operación de desagüe se realiza con una válvula de compuerta de 100mm ubicada diagonalmente a la línea de 200mm.

La decantación se realiza mediante cuatro sedimentadores estáticos de placas planas, de flujo ascendente, dos por línea, cada sedimentador tiene 250 placas de 2,4 x 1,2 x 0,002 m de dimensiones unitarias, dispuestas de modo paralelo, con 5 cm de separación, a lo largo de los dos compartimentos de decantación.

En cada sedimentador la recolección de agua sedimentada se realiza por medio de 50 tubos perforados de acero galvanizado de 150 mm de diámetro, que desembocan en un conducto central de recogida, situado encima del conducto de distribución de agua floculada



**Gráfico 2.10 Planta General**

Respecto del proceso de purga para cada sedimentador se disponen cuatro válvulas automáticas de purga de fangos, de tipo de manguito, de 200 mm de diámetro nominal y de accionamiento neumático mediante la aportación de aire comprimido a 1,5 – 2 bar de presión controlada por electroválvulas de tres vías (alimentación de la red, válvula automática y atmósfera) accionadas a su vez por bobinas eléctricas alimentadas por corriente bifásica de 120 v.

La filtración se realiza mediante seis unidades de filtros abiertos con lecho de arena, control de nivel constante, contruidos con hormigón armado, de 36,6 m<sup>2</sup> (12.04 x 3.04 m). Con lecho filtrante de Arena Silíceo de 72 cm de altura sobre Bloques Leopold.

El lavado de los filtros se realizará de dos modos opcionales: en modo automático, secuencialmente, gobernado por el PLC del Centro de Control, según las instrucciones de duración total del ciclo de lavado de la batería de filtros, transmitida por el operador desde el ordenador de control, y en modo manual operando un switch de selección de automático a manual y con un pulsador en el pupitre de control que inicia el proceso, no siendo posible controlar manualmente las fases mismas del proceso o subsecuencia ni sus tiempos de ejecución.

La planta (Gráfico 2.10) tiene para el almacenamiento de agua potable un depósito de 5000 m<sup>3</sup> al final de la línea de proceso, este se encuentra dividido internamente en dos tanques para labores de operación y mantenimiento, el tanque es de forma hexagonal y parcialmente enterrado.

El siguiente es el equipamiento general en la PTAP:

- Floculación mecánica : 4 cámaras de floculación mecánica con 16 agitadores de eje vertical
- Red de aire comprimido. Unidades de mantenimiento
- Válvulas de manguito. Purga automática de fangos de sedimentadores
- Compuertas: Tipo mural, tipo canal
- Válvulas mariposa actuadas neumáticamente. Proceso de lavado automático en filtros.

### **2.2.3 MODELO DE CRITICIDAD SEMICUANTITATIVO “CTR” (CRITICIDAD TOTAL POR RIESGO)**

El modelo de Criticidad Total por Riesgo (CTR) presentado a continuación, es un proceso de análisis semicuantitativo, bastante sencillo y práctico, soportado en el concepto del riesgo, entendido como la consecuencia de multiplicar la frecuencia de un fallo por la severidad del mismo. Este método ha sido ampliamente desarrollado por consultoras y empresas internacionales, adaptado a un número importante de industrias. (Parra, 2012)

A continuación se presentan de forma detallada, las expresiones utilizadas para jerarquizar los sistemas a partir del modelo CR:

$$CR = FF \times C$$

#### **Ecuación 1.1 Criticidad por Riesgo**



Dónde:

FF: Frecuencia de fallos (rango de fallos en un tiempo determinado (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:

$$C = (IO \times FO) + CM + SHA$$

### **Ecuación 1.2 Consecuencias**

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

La expresión final del modelo de priorización de CTR será la siguiente:

$$CTR = FF \times ((IO \times FO) + CM + SHA)$$

### **Ecuación 1.3 Criticidad Total por Riesgo**

#### **2.2.3.1 Criterios de Análisis de Criticidad y su cuantificación**

Los factores ponderados de cada uno de los criterios a ser evaluados por la expresión del riesgo se presentan a continuación en la tabla 2.1.

Los criterios para determinar la criticidad de los equipos, que van a ser expuestos están sujetos a dos factores muy importantes, la frecuencia del fallo y la consecuencia de su aparición.

Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente: Efecto del fallo sobre personas, entorno.

Impacto por Flexibilidad Operacional: Efecto del fallo sobre la calidad del producto.

Impacto Operacional: Efecto del fallo sobre la producción.

Impacto en Costes de Mantenimiento: Tiempo y costo de la reparación.

CRITERIOS PARA DETERMINAR CRITICIDAD	CUANTIFICACION
<b>Factor de Frecuencia de Fallos (FF) (escala 1 - 4)</b>	
Frecuente: mayor a 2 eventos al año	4
Promedio: 1 y 2 eventos al año	3
Bueno: entre 0,5 y un 1 evento al año	2
Excelente: menos de 0,5 eventos al año	1
<b>Factores de Consecuencias</b>	
<b>Impacto Operacional (IO) (escala 1 - 10)</b>	
Pérdidas de producción superiores al 75%	10
Pérdidas de producción entre el 50% y el 74%	7
Pérdidas de producción entre el 25% y el 49%	5
Pérdidas de producción entre el 10% y el 24%	3
Pérdidas de producción menor al 10%	1
<b>Impacto por Flexibilidad Operacional (FO) (escala 1 - 4)</b>	
No se cuenta con unidades de reserva para cubrir la producción, tiempos de reparación y logística muy grandes	4
Se cuenta con unidades de reserva que logran cubrir de forma parcial el impacto de producción, tiempos de reparación y logística intermedios	2
Se cuenta con unidades de reserva en línea, tiempos de reparación y logística pequeños	1

<b>Impacto en Costes de Mantenimiento (CM) (escala 1 - 2)</b>	
Costes de reparación, materiales y mano de obra superiores a 2.000 dólares	2
Costes de reparación, materiales y mano de obra inferiores a 2.000 dólares	1
<b>Impacto en Seguridad, Higiene y Ambiente (SHA) (escala 1 - 8)</b>	
Riesgo alto de pérdida de vida, daños graves a la salud del personal y/o incidente ambiental mayor (catastrófico) que exceden los límites permitidos	8
Riesgo medio de pérdida de vida, daños importantes a la salud, y/o incidente ambiental de difícil restauración	6
3: Riesgo mínimo de pérdida de vida y afección a la salud (recuperable en el corto plazo) y/o incidente ambiental menor (controlable), derrames fáciles de contener y fugas repetitivas	3
No existe ningún riesgo de pérdida de vida, ni afección a la salud, ni daños ambientales	1
La selección de los factores ponderados se realiza en reuniones de trabajo con la participación de las distintas personas involucradas en el contexto operacional del activo en estudio (operaciones, mantenimiento, procesos, seguridad y ambiente).	

**Tabla 2.1 Criterios para determinar Criticidad**

Fuente: MORA GUTIERREZ, Luis Alberto. Mantenimiento centrado en Confiabilidad.

#### **2.2.4 Aplicación del método en campo**

Se llevan a cabo una evaluación por parte del Ingeniero de Mantenimiento electromecánico respecto al factor de frecuencia y a los factores de consecuencias, en el caso de la frecuencia se evalúan las fallas en una escala del 1 al 4 y en el caso de las consecuencias se dividen en cuatro factores, que son el impacto operacional que va en una escala del 1 al 10, el impacto por flexibilidad operacional q va en una escala del 1 al 4, el impacto en los costos de mantenimiento q van en una escala del 1 al 2 y el impacto en seguridad, higiene y medio ambiente que va en una escala del 1 al 8.

En la Tabla 2.2 se indican la posición de cada factor de acuerdo a la escala determinada, y en la Tabla 2.3 se presentan los cálculos de Criticidad de cada equipo clasificándolos además en un rango de Crítico (CR), Semicrítico (SCR) y No Crítico (NCR) para finalmente ordenando este rango respecto a los equipos presentar una lista jerarquizada.

Tabla 2.2 Determinación de factores de criticidad

ITEM	EQUIPAMIENTOS	FACTORES				FACTORES DE CONSECUENCIAS													
		FACTOR DE FRECUENCIA				IMPACTO OPERACIONAL (IO)	IMPACTO POR FLEXIBILIDAD OPERACIONAL (FO)	IMPACTO EN COSTOS DE MANTENIMIENTO (CM)	IMPACTO EN SEGURIDAD, HIGIENE Y AMBIENTE (SHA)										
		FALLAS (FF)				(escala 1 - 10)	(escala 1 - 4)	(escala 1 - 2)	(escala 1 - 8)										
		Número de eventos (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 1 evento al año	1: Excelente: menos de 0,5 eventos al año	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%	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 de reserva en línea, tiempos de reparación y logística pequeños	2: Costes de reparación, materiales y mano de obra superiores a 2.000 dólares	1: Costes de reparación, materiales y mano de obra inferiores a 2.000 dólares	8: Riesgo alto de pérdida de vida, daños graves a la salud del personal y/o incidente ambiental mayor (catastrófico) que exceden los límites permitidos	6: Riesgo medio de pérdida de vida, daños importantes a la salud, y/o incidente ambiental de difícil restauración	3: Riesgo mínimo de pérdida de vida y afección a la salud (recuperable en el corto plazo) y/o 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

<b>A REACTIVOS</b>																			
1	SKID DE DOSIFICACION DE SULFATO DE ALUMINIO	1								1			1					1	
2	BOMBA DE TRASVASE DE SULFATO DE ALUMINIO		1							1			1					1	
3	AGITADORES CUBAS DE SULFATO DE ALUMINIO							1						1					1
4	SKID DE DOSIFICACION POLIELECTROLITO	1								1			1					1	
5	PREPARACION DE POLIELECTROLITO		1							1			1					1	
6	SKID DE DOSIFICACION DE HIDROXIDO DE SODIO								1				1					1	
7	BOMBA DE TRASVASE DE HIDROXIDO DE SODIO								1	1								1	
8	POLIPASTO 3 TN REACTIVOS								1				1						1
9	SKID DE DOSIFICACION DE ACIDO CLORHIDRICO								1				1					1	
10	BOMBA DE TRASVASE DE ACIDO CLORHIDRICO								1				1					1	
11	DOSIFICACION DE HIDROXIDO DE CALCIO. BOMBAS PERISTALTICAS								1				1					1	
12	PREPARACION DE HIDROXIDO DE CALCIO								1				1					1	

<b>B SALA DE MAQUINAS</b>																	
13	BOMBAS PARA ARRASTRE DE CLORO		1				1			1		1			1		
14	AGITADOR DE CLORO. CAMARA DE CONTACTO				1			1				1				1	
15	BOMBAS DE RETROLAVADO DE FILTROS			1				1			1				1		
16	SOPLANTES PARA RETROLAVADO DE FILTROS			1				1			1				1		
17	CONJUNTO HIDRONEUMATICO	1						1			1					1	
18	COMPRESORES		1					1			1					1	
19	BOMBAS PARA LAVADO DE FILTRO BANDA			1			1			1		1				1	
20	BOMBAS PARA SATURADOR DE CAL					1				1		1					1
21	POLIPASTO 1 TN SALA DE MAQUINAS			1			1				1				1		
22	BOMBAS SUMERGIBLES CARCAMO DE BOMBEO		1							1				1			1
23	BOMBAS SUMERGIBLES LODOS A TANQUE ESPESADOR		1							1				1			1
24	BOMBAS SUMERGIBLES RETORNO A CABECERA DE PLANTA		1							1				1			1
<b>C CLORACION</b>																	
25	CONJUNTO DE DOSIFICACION DE CLORO GAS		1							1		1			1		
26	MANIFOLS PARA CLORO GAS		1							1			1	1			
27	SCRUBER FUGAS DE CLORO		1				1		1				1				1
28	POLIPASTO DE 3 TN. EDIFICIO DE CLORO			1					1			1			1		

<b>D</b>	<b>DESHIDRATACION DE FANGOS</b>																		
29	FILTRO BANDA				1				1		1			1					1
30	TANQUE ESPESADOR DE FANGOS			1					1		1			1				1	
31	BOMBAS PARA LODOS		1						1		1			1				1	
32	PREPARACION DE POLIELECTROLITO FB				1				1		1			1				1	
33	BOMBAS DE DOSIFICACION DE POLIELECTROLITO A FILTRO BANDA				1				1		1			1				1	
34	POLIPASTO DE 3 TN. DESHIDRATACION DE FANGOS				1				1	1				1					1
<b>E</b>	<b>GENERACION DE POTENCIA</b>																		
35	GRUPO ELECTROGENO			1				1			1			1				1	
36	TRANSFORMADOR				1				1					1				1	
37	SECCIONADOR				1				1					1				1	
<b>F</b>	<b>PLANTA EN GENERAL</b>																		
38	AGITADORES FLOCULACION MECANICA			1				1					1	1					1
39	RED DE AIRE A PRESION. UNIDADES DE MANTENIMIENTO		1					1			1			1					1
40	VALVULAS MANGUITO				1			1			1			1					1
41	COMPUERTAS				1			1			1			1					1
42	VALVULAS MARIPOSA ACTUADAS NEUMATICAMENTE			1				1			1			1					1



Tabla 2.3 Cálculo de criticidad

<b><u>CALCULO DE CRITICIDAD</u></b>									
<b>ITEM</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>CALCULO CONSECUENCIA</b>	<b>FF</b>	<b>CRITICIDAD TOTAL</b>	<b>CONDICION DE CRITICIDAD CR &gt;50 50 &gt; SCR &gt; 30 NCR &lt; 30</b>	<b>ITEM</b>	<b>EQUIPOS ORDENADOS DE MAYOR A MENOR DE ACUERDO AL CALCULO DE CRITICIDAD Y AL RANGO EN EL QUE SE ENCUENTRA  LISTA JERARQUIZADA</b>		

<b>1</b>	<b>SKID DE DOSIFICACION DE SULFATO DE ALUMINIO</b>	17	4	68	CRITICO	<b>1</b>	SKID DE DOSIFICACION DE SULFATO DE ALUMINIO	68	<b>CR</b>
<b>2</b>	<b>BOMBA DE TRASVASE DE SULFATO DE ALUMINIO</b>	19	3	57	CRITICO	<b>2</b>	SKID DE DOSIFICACION POLIELECTROLITO	68	<b>CR</b>
<b>3</b>	<b>AGITADORES CUBAS DE SULFATO DE</b>	9	1	9	No crítico	<b>3</b>	MANIFOLS PARA CLORO GAS	63	<b>CR</b>

	<b>ALUMINIO</b>								
<b>4</b>	<b>SKID DE DOSIFICACION POLIELECTROLITO</b>	17	4	68	CRITICO	<b>4</b>	BOMBAS PARA ARRASTRE DE CLORO	60	<b>CR</b>
<b>5</b>	<b>PREPARACION DE POLIELECTROLITO</b>	19	3	57	CRITICO	<b>5</b>	CONJUNTO DE DOSIFICACION DE CLORO GAS	60	<b>CR</b>
<b>6</b>	<b>SKID DE DOSIFICACION DE HIDROXIDO DE SODIO</b>	6	1	6	No crítico	<b>6</b>	BOMBA DE TRASVASE DE SULFATO DE ALUMINIO	57	<b>CR</b>
<b>7</b>	<b>BOMBA DE TRASVASE DE HIDROXIDO DE SODIO</b>	9	1	9	No crítico	<b>7</b>	PREPARACION DE POLIELECTROLITO	57	<b>CR</b>
<b>8</b>	<b>POLIPASTO 3 TN REACTIVOS</b>	5	1	5	No crítico	<b>8</b>	CONJUNTO HIDRONEUMATICO	56	<b>CR</b>
<b>9</b>	<b>SKID DE DOSIFICACION DE ACIDO CLORHIDRICO</b>	6	1	6	No crítico	<b>9</b>	COMPRESORES	42	<b>SCR</b>
<b>10</b>	<b>BOMBA DE TRASVASE DE</b>	6	1	6	No crítico	<b>10</b>	BOMBAS SUMERGIBLES LODOS A TANQUE ESPESADOR	39	<b>SCR</b>

	<b>ACIDO CLORHIDRICO</b>								
<b>11</b>	<b>DOSIFICACION DE HIDROXIDO DE CALCIO. BOMBAS PERISTALTICAS</b>	6	1	6	No crítico	<b>11</b>	BOMBAS SUMERGIBLES	39	<b>SCR</b>
<b>12</b>	<b>PREPARACION DE HIDROXIDO DE CALCIO</b>	7	1	7	No crítico	<b>12</b>	BOMBAS SUMERGIBLES RETORNO A CABECERA DE PLANTA	39	<b>SCR</b>
<b>13</b>	<b>BOMBAS PARA ARRASTRE DE CLORO</b>	20	3	60	CRITICO	<b>13</b>	POLIPASTO DE 3 TN. EDIFICIO DE CLORO	38	<b>SCR</b>
<b>14</b>	<b>AGITADOR DE CLORO. CAMARA DE CONTACTO</b>	15	1	15	No crítico	<b>14</b>	GRUPO ELECTROGENO	38	<b>SCR</b>
<b>15</b>	<b>BOMBAS DE RETROLAVADO DE FILTROS</b>	15	2	30	Semi-CRITICO	<b>15</b>	RED DE AIRE A PRESION. UNIDADES DE MANTENIMIENTO	36	<b>SCR</b>
<b>16</b>	<b>SOPLANTES PARA RETROLAVADO</b>	15	2	30	Semi-CRITICO	<b>16</b>	SCRUBER FUGAS DE CLORO	33	<b>SCR</b>

	<b>DE FILTROS</b>								
<b>17</b>	<b>CONJUNTO HIDRONEUMATICO</b>	14	4	56	CRITICO	<b>17</b>	BOMBAS DE RETROLAVADO DE FILTROS	30	<b>SCR</b>
<b>18</b>	<b>COMPRESORES</b>	14	3	42	Semi-CRITICO	<b>18</b>	SOPLANTES PARA LAVADO DE FILTROS	30	<b>SCR</b>
<b>19</b>	<b>BOMBAS PARA LAVADO DE FILTRO BANDA</b>	8	2	16	No crítico	<b>19</b>	POLIPASTO 1 TN SALA DE MAQUINAS	30	<b>SCR</b>
<b>20</b>	<b>BOMBAS PARA SATURADOR DE CAL</b>	4	1	4	No crítico	<b>20</b>	TANQUE ESPESADOR DE FANGOS	30	<b>SCR</b>
<b>21</b>	<b>POLIPASTO 1 TN SALA DE MAQUINAS</b>	15	2	30	Semi-CRITICO	<b>21</b>	AGITADORES FLOCULACION MECANICA	22	<b>NCR</b>
<b>22</b>	<b>BOMBAS SUMERGIBLES CARCAMO DE BOMBEO</b>	13	3	39	Semi-CRITICO	<b>22</b>	BOMBAS PARA LODOS	21	<b>NCR</b>
<b>23</b>	<b>BOMBAS SUMERGIBLES LODOS A TANQUE ESPESADOR</b>	13	3	39	Semi-CRITICO	<b>23</b>	TRANSFORMADOR	17	<b>NCR</b>

24	BOMBAS SUMERGIBLES RETORNO A CABECERA DE PLANTA	13	3	39	Semi-CRITICO	24	SECCIONADOR	17	NCR
25	CONJUNTO DE DOSIFICACION DE CLORO GAS	20	3	60	CRITICO	25	VALVULAS MARIPOSA ACTUADAS NEUMATICAMENTE	16	NCR
26	MANIFOLS PARA CLORO GAS	21	3	63	CRITICO	26	BOMBAS PARA LAVADO DE FILTRO BANDA	16	NCR
27	SCRUBER FUGAS DE CLORO	11	3	33	Semi-CRITICO	27	AGITADOR DE CLORO. CAMARA DE CONTACTO	15	NCR
28	POLIPASTO DE 3 TN. EDIFICIO DE CLORO	19	2	38	Semi-CRITICO	28	FILTRO BANDA	12	NCR
29	FILTRO BANDA	12	1	12	No crítico	29	COMPUERTAS	9	NCR
30	TANQUE ESPESADOR DE FANGOS	15	2	30	Semi-CRITICO	30	BOMBA DE TRASVASE DE HIDROXIDO DE SODIO	9	NCR
31	BOMBAS PARA LODOS	7	3	21	No crítico	31	AGITADORES CUBAS DE SULFATO DE ALUMINIO	9	NCR

32	PREPARACION DE POLIELECTROLITO FB	7	1	7	No crítico	32	PREPARACION DE POLIELECTROLITO FB	7	NCR
33	BOMBAS DE DOSIFICACION DE POLIELECTROLITO A FILTRO BANDA	7	1	7	No crítico	33	BOMBAS DE DOSIFICACION DE POLIELECTROLITO A FILTRO BANDA	7	NCR
34	POLIPASTO DE 3 TN. DESHIDRATACION DE FANGOS	7	1	7	No crítico	34	POLIPASTO DE 3 TN. DESHIDRATACION DE FANGOS	7	NCR
35	GRUPO ELECTROGENO	19	2	38	Semi-CRITICO	35	VALVULAS DE MANGUITO	7	NCR
36	TRANSFORMADOR	17	1	17	No crítico	36	PREPARACION DE HIDROXIDO DE CALCIO	7	NCR
37	SECCIONADOR	17	1	17	No crítico	37	DOSIFICACION DE HIDROXIDO DE CALCIO. BOMBAS PERISTALTICAS	6	NCR
38	AGITADORES FLOCULACION MECANICA	11	2	22	No crítico	38	SKID DE DOSIFICACION DE HIDROXIDO DE SODIO	6	NCR

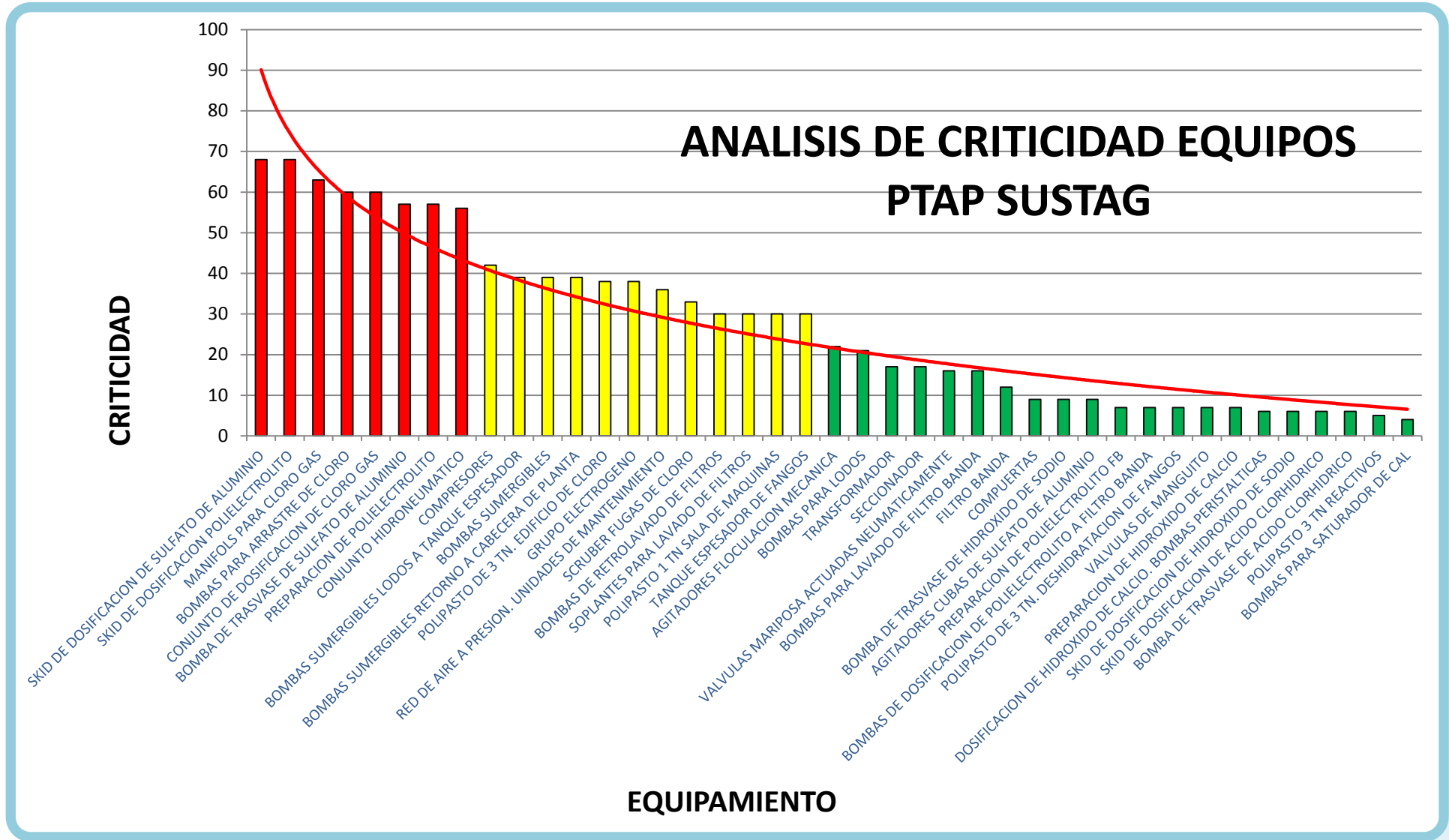
39	RED DE AIRE A PRESION. UNIDADES DE MANTENIMIENTO	12	3	36	Semi-CRITICO	39	SKID DE DOSIFICACION DE ACIDO CLORHIDRICO	6	NCR
40	VALVULAS MANGUITO	7	1	7	No crítico	40	BOMBA DE TRASVASE DE ACIDO CLORHIDRICO	6	NCR
41	COMPUERTAS	9	1	9	No crítico	41	POLIPASTO 3 TN REACTIVOS	5	NCR
42	VALVULAS MARIPOSA ACTUADAS NEUMATICAMENTE	8	2	16	No crítico	42	BOMBAS PARA SATURADOR DE CAL	4	NCR

### 2.2.5 Lista jerarquizada. Diagrama de Pareto

En el Gráfico 2.11 se representa en un diagrama de Pareto, con los datos de izquierda a derecha y separados por barras. El diagrama permite mostrar gráficamente el principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales), es decir, que hay muchos problemas sin importancia frente a unos pocos muy importantes. Mediante la gráfica colocamos los "pocos que son vitales" a la izquierda con barras de color rojo y los "muchos triviales" a la derecha con barras color amarillo y verde. Permite asignar un orden de prioridades.

Hay que tener en cuenta que tanto la distribución de los efectos como sus posibles causas no es un proceso lineal sino que el 20% de las causas totales hace que sean originados el 80% de los efectos. El principal uso que tiene el elaborar este tipo de diagrama es para poder establecer un orden de prioridades en la toma de decisiones dentro de una organización. Evaluar todas las fallas, saber si se pueden resolver o mejor evitarla.

Gráfico 2.11 Lista jerarquizada. Diagrama de Pareto





## 2.2.6 Conclusiones del Capítulo

Como se puede observar en la tabla de cálculo, se tiene una columna que representa la Lista jerarquizada del total del equipamiento, el mismo que se representa en un diagrama de Pareto, como se muestra en la figura, y que detalla los equipos críticos de acuerdo al índice de prioridad de riesgo según las condiciones de criticidad y que cumple con el teorema que dice que del universo del 100% de equipos, 20% son considerados críticos y son a estos a los cuales hay que darles prioridad y direccionar mejor los recursos a estos activos, sin embargo existen además aproximadamente un 30% de equipos que se encuentran en la zona de semicríticos y al igual que con los críticos este análisis puede servir de referencia para mejorar la planificación respecto a los mismos. En cuanto a los equipos no críticos que en este análisis representa aproximadamente el 50% no quiere decir que no tengan ninguna importancia ni priorización, al igual que todos los equipos tienen que ser revisados e incluidos en la planificación de acuerdo y en la medida que estos necesitan.

La Tabla 2.4 muestra una Matriz de criticidad que se deriva de la metodología aplicada en donde se representa los niveles o franjas de criticidad que relaciona la frecuencia por la consecuencia.

**MATRIZ DE CRITICIDAD PROPUESTA POR EL MODELO CTR**

		<b>CTR</b>			
<b>FRECUENCIA</b>	<b>4</b>	<b>SCR</b>	<b>CR</b>	<b>CR</b>	<b>CR</b>
	<b>3</b>	<b>NCR</b>	<b>SCR</b>	<b>CR</b>	<b>CR</b>
	<b>2</b>	<b>NCR</b>	<b>NCR</b>	<b>SCR</b>	<b>CR</b>
	<b>1</b>	<b>NCR</b>	<b>NCR</b>	<b>NCR</b>	<b>NCR</b>
		<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>
<b>CONSECUENCIA</b>					

**Tabla 2.4 Matriz de criticidad propuesto por el modelo CTR**

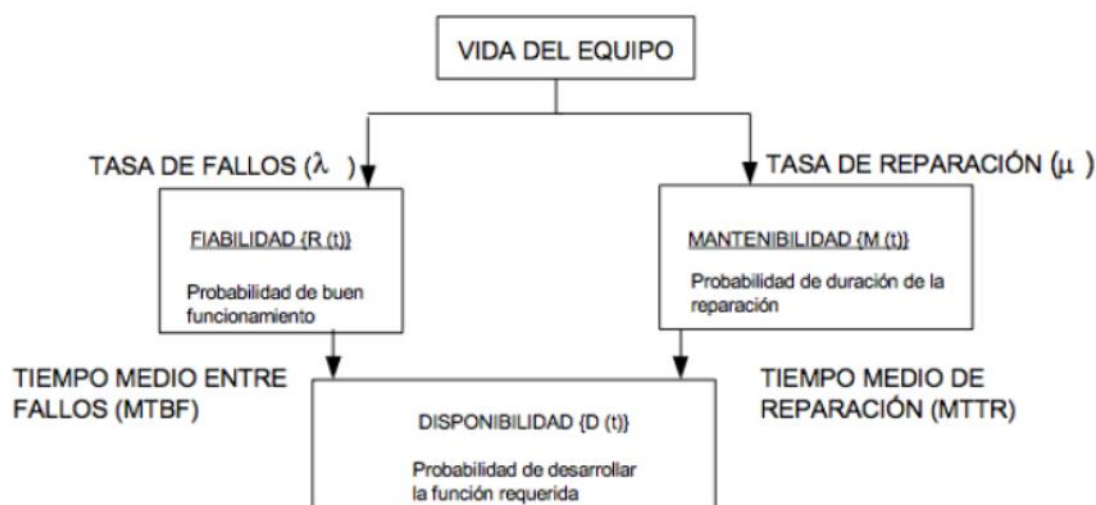
## CAPITULO 3

### 3. CALCULO DE CONFIABILIDAD, DISPONIBILIDAD Y MANTENIBILIDAD A LOS EQUIPOS CRITICOS.

#### 3.1. ANTECEDENTES

El Modelo de Mantenimiento, a través del análisis CDM permite la clasificación y caracterización de la información, para que ésta sea agrupada y consultada de acuerdo a los requerimientos específicos de cada equipo, lo cual facilita los procesos de análisis y toma de decisiones, tan importantes en las áreas de costos y confiabilidad. (Mora G, 2013)

El Gráfico 3.1 representa un resumen de los parámetros que caracterizan la vida de los Equipos:



**Gráfico 3.1 Esquema de la vida útil de un equipo**

La Gerencia de Mantenimiento está sustituyendo los viejos valores por paradigmas de excelencia de mayor nivel. La práctica de Ingeniería de Confiabilidad, la gestión de activos, la medición de los indicadores y la gestión de la disponibilidad; así como la reducción de los costos de mantenimiento constituyen los objetivos

primordiales de las empresas enfocadas en asegurar la calidad de gestión de la organización de mantenimiento.

Los Indicadores de mantenimiento y los sistemas de planificación empresarial asociados al área de efectividad permiten evaluar el comportamiento operacional de las instalaciones, sistemas, equipos, dispositivos y componentes de esta manera será posible implementar un plan de mantenimiento orientado a perfeccionar la labor de mantenimiento.

Los indicadores a calcular a los equipos críticos son:

- Mean Time Between Failures (MTBF). Tiempo medio entre Fallos.
- Mean Time To Repair (MTTR). Tiempo medio para Reparar.
- Confiabilidad
- Disponibilidad
- Mantenibilidad

### **3.2. Mean Time Between Failures (MTBF). Tiempo medio entre Fallos.**

El Tiempo medio Entre Fallos indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de un fallo; es decir, *es el tiempo medio transcurrido hasta la llegada del evento "fallo"*. Mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad del componente o equipo. Uno de los parámetros más importantes utilizados en el estudio de la Confiabilidad constituye el MTBF, es por esta razón que debe ser tomado como un indicador más que represente de alguna manera el comportamiento de un equipo específico. Así mismo, para determinar el valor de este indicador se utiliza la data primaria histórica almacenada en el software Sismac. (Amendola, 2011)

El análisis de fallos es el paso más importante en la determinación de un programa de mantenimiento óptimo y éste depende del conocimiento del índice de fallos de un equipo en cualquier momento de su vida útil.

$$MTBF = \frac{\sum_0^n TBF_i}{n} [días]$$

**Ecuación 3.1 Expresión del MTBF. Tiempo Medio entre fallas**

**3.3. Mean Time To Repair (MTTR). Tiempo medio para Reparar.**

*Es la medida de la distribución del tiempo de reparación de un equipo o sistema. Este indicador mide la efectividad en restituir la unidad a condiciones óptimas de operación una vez que la unidad se encuentra fuera de servicio por un fallo, dentro de un período de tiempo determinado. El Tiempo Promedio para Reparar es un parámetro de medición asociado a la mantenibilidad, es decir, a la ejecución del mantenimiento. (Amendola, 2011)*

$$MTTR = \frac{\sum_0^n TTR_i}{n} [días]$$

**Ecuación 3.2 Expresión del MTTR. Tiempo Medio para reparar**

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. A través del estudio de los factores que influyen sobre la disponibilidad, el TPPF y el TPPR, es posible para la gerencia evaluar distintas alternativas de acción para lograr los aumentos necesarios de disponibilidad.

**3.4. Confiabilidad. -**

Es la probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica bajo condiciones de uso determinadas en un período determinado. El estudio de confiabilidad es el estudio de fallos de un equipo o componente. Si se tiene un equipo sin fallo, se dice que el equipo es ciento por ciento confiable o que tiene una probabilidad de supervivencia igual a uno. Al realizar un análisis de confiabilidad a un equipo o

sistema, obtenemos información valiosa acerca de la condición del mismo: probabilidad de fallo, tiempo promedio para fallo, etapa de la vida en que se encuentra el equipo.

La confiabilidad de un sistema y sus componentes es de suma importancia si queremos conocer la confiabilidad de los activos.

Uno de los factores a considerar para predecir la confiabilidad de componentes es la tasa de fallo, número de horas de funcionamiento, naturaleza y distribución del fallo, con lo cual es posible conocer el comportamiento de equipos en operación con el fin de:

- Prever y optimizar el uso de los recursos humanos y materiales necesarios para el mantenimiento.
- Diseñar y/o modificar las políticas de mantenimiento a ser utilizadas.
- Calcular instantes óptimos de sustitución económica de equipos.
- Establecer frecuencias óptimas de ejecución del mantenimiento preventivo.

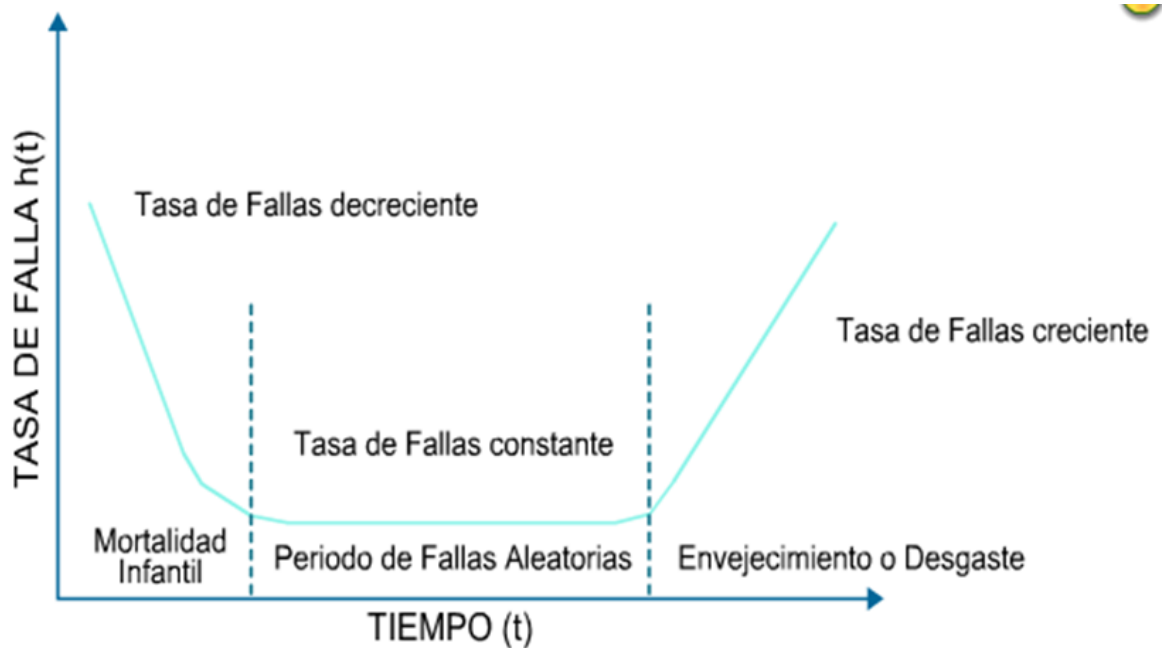
La confiabilidad está estrechamente relacionada con la investigación operativa ya que la asociamos a la probabilidad de ocurrencia de una falla en un período de tiempo determinado y bajo determinadas condiciones ambientales de operación. A los efectos de su aplicación, la confiabilidad distingue tres tipos de fallas que ocurren en forma arbitraria y que son ajenas al personal encargado de la operación:

- Fallas iniciales (mortalidad infantil)  
Se llaman así porque ocurren en la fase inicial de la vida operativa y generalmente se deben a deficiencias en el proceso de fabricación, instalación o control de calidad. Estas fallas se corrigen durante las pruebas iniciales y su influencia, desde el punto de vista operativo, es prácticamente insignificante.
- Fallas aleatorias (vida útil)  
Son debidas al azar y por lo tanto independientes de las fallas iniciales y del adecuado mantenimiento.  
Este tipo de fallas es imposible de predecir con exactitud pero, en general, tienden a cumplir con ciertas reglas pertenecientes a los grandes números

que hacen que la frecuencia de su ocurrencia durante un período de tiempo suficientemente largo resulte prácticamente constante.

- Fallas por desgaste (vejez)

En general este tipo de fallas aparecen luego de terminado el período de vida útil del elemento o sistema. En la mayoría de los casos este problema puede evitarse mediante el mantenimiento preventivo, es decir, mediante la sustitución de los componentes o equipos a intervalos inferiores al tiempo de vida previo al desgaste.



**Gráfico 3.2 Curva de Davies (Curva de la Bañera).**

La forma de la función  $h(t)$  mostrada en el Gráfico 3.2 es ampliamente conocida como Curva de Davies o curva de la bañera. (Mora G, 2013)

La Curva de la bañera es un gráfico que muestra el probable comportamiento de la tasa de fallas de un tipo de componente o equipo para diferentes instantes de tiempo; se construye observando y registrando el comportamiento histórico de fallas de una población de ese tipo de componente o equipo.

Para el cálculo de los parámetros CMD se considera una tasa de fallas constante, la cual es representada a través de la distribución exponencial y su importancia está en que casi todos los componentes tienen durante su operación normal una intensidad de falla constante.

En estas condiciones la confiabilidad C de ese elemento, equipo o sistema estará matemáticamente definida por la siguiente expresión:

$$C(t) = e^{-(\lambda \cdot t)}$$

### **Ecuación 3.3 Confiabilidad**

Donde

e: constante Neperiana (e=2.303..)

$\lambda$ : constante denominada "tasa de fallas aleatorias"

t : período de tiempo arbitrario para el cual se desea conocer la confiabilidad

En lugar de  $\lambda$  es más común utilizar su inversa a la que se conoce como tiempo medio entre fallas MTBF (Mean Time Between Faults) es decir:

$$MTBF = 1 / \lambda$$

### **Ecuación 3.4 Relación del MTBF con la Taza de fallos**

Esta expresión es válida para el período de vida útil del elemento o sistema y representa la posibilidad de que el dispositivo (con tasa de falla constante) no tendrá fallas durante el período de tiempo t.

### **3.5. Mantenibilidad. –**

La mantenibilidad es la probabilidad de devolver un equipo o componente a sus condiciones operativas en un determinado periodo de tiempo, o dicho de otra forma, es la capacidad para recuperar el servicio en el momento que se realiza la tarea de mantenimiento.

El estado de fallo de un equipo se establece por el tiempo en que duren las tareas de mantenimiento para recuperar la funcionalidad del mismo. El análisis de este periodo lo estudia la Mantenibilidad luego de la aparición de una falla y que realizado con el personal especificado, las habilidades necesarias, el equipo

indicado, los datos técnicos, manuales de operación y mantenimiento, el departamento de soporte de mantenimiento y bajo las condiciones ambientales especificadas, tiene una relación directa con la rapidez de la intervención.

La ecuación clásica de la Mantenibilidad es:

$$M(t) = 1 - e^{-(\mu t)}$$

### **Ecuación 3.5 Mantenibilidad**

Cuando  $\mu$  o tasa de reparación es constante.

El MTTR (Mean Time To Repair) es el tiempo promedio para reparar de un componente cuando este falla.

Podemos definir la tasa de reparación ( $\mu$ ) en función del MTTR como:

$$\mu = 1/\text{MTTR}$$

### **Ecuación 3.6 Relación del MTTR con la Taza de reparación**

La tasa de reparación es un parámetro el cual permite evaluar la probabilidad que tiene un componente a ser reparado y juega un papel exactamente similar a la tasa de falla ( $\lambda = 1/\text{MTBF}$ ) para el cálculo de la confiabilidad.

### **3.6. Disponibilidad.**

La disponibilidad, objetivo principal del mantenimiento, puede ser definida como la confianza de que un componente o sistema que sufrió mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado. En la práctica, la disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir.

La disponibilidad es una medida de la probabilidad que un equipo funcione en sus parámetros de diseño en el instante en que se solicite, una vez se inicie su producción bajo condiciones estables.



Para equipos cuyos valores se ajustan a la distribución exponencial, puede decirse que las tasas de fallas es una constante  $\lambda(t)=\lambda$  También puede decirse que las tasas de reparaciones es una constante  $\mu(t)=\mu$ . Es decir, la disponibilidad es función de la confiabilidad y de la mantenibilidad.

La disponibilidad no es una función del tiempo, pero sí de la confiabilidad y de la mantenibilidad a medida que ésta disminuye, aumenta el efecto que la mantenibilidad tiene sobre la disponibilidad

Resulta sumamente conveniente hablar de disponibilidad porque da idea del rendimiento del sistema en términos de mantenimiento y, por lo tanto, de organización empresarial con todas sus implicancias y consecuencia.

### **3.7. Cálculo de los parámetros CMD**

Antes de realizar el cálculo se establece el alcance o límite dentro de los cuales se van a establecer los datos para los mismos, en donde el período considerado es de 365 días, en dos jornadas, equivalente a 5840 horas durante todo el año. En el cuadro se muestra los modos de falla y los tiempos establecidos en cada modo con sus respectivos “tiempos entre fallos” (TBF) y los tiempos fuera de operación o “tiempos de reparación” (TTR), para el análisis no fueron considerados los tiempos de logística, puestas en marcha, etc.

Bajo las condiciones mencionadas, el tiempo esperado de operación corresponde a las 5840 horas completas del año, que empezarían el 1 de enero del 2015 y terminarían el 31 de diciembre del 2015. Entonces el MTBF sería la sumatoria de los TBF parciales correspondientes a los fallos dividido entre el número de fallos (El último tiempo no se suma puesto que es al final del periodo y no un fallo):

Calculado el MTBF y MTTR se procede a calcular las tasas de fallo y de reparación respectivamente, con la distribución exponencial como se explicó anteriormente.

Para tener una información que sirva como indicador los datos CDM se calculan para un mes de operación que es un dato manejable y útil tanto para producción como para mantenimiento.

Una vez obtenidas estas tasas de fallo y reparación se obtienen primeramente la confiabilidad que está en función de los tiempos de operación y la cantidad de fallos así como la mantenibilidad que están en función de los tiempos de reparación y la cantidad de fallos.

Finalmente se calcula la disponibilidad del equipo, que dependen de la confiabilidad y mantenibilidad.

A continuación en la Tabla 3.1 y 3.2 se presentan los cálculos realizados.

Tabla 3.1 Cálculo de MTBF Y MTTR a los equipos críticos

Formato de Recolección de Datos de Fallas														
Equipos Criticos de la PTAP de Sustag														
Registro de Causa de Paro equipo:										INICIO				
EMPRESA:		ETAPA EP		PERIODO:		2015		FECHA		HORA				
								01/01/2015		8:00:00				
EQUIPO SALE DE OPERACIÓN		EQUIPO. SKID DE SULFATO DE ALUMINIO		EQUIPO ENTRA EN OPERACIÓN		TBF			TTR			MTBF	MTTR	
FECHA	HORA	CAUSA DE PARO POR MODOS DE FALLO		FECHA	HORA	DIAS	HORAS	HORAS	DIAS	HORAS	HORAS			
1	15/01/2015	10:30:00	Rotura de tornillo de diafragma de bomba Nº1		01/02/2015	11:00:00	14,00	1,67	225,67	17,00	0,33	272,33	1199,42	259,25
2	07/05/2015	14:00:00	Fuga de aceite bomba Nº2		25/05/2015	13:00:00	95,00	2,00	1522,00	18,00	-0,67	287,33		
3	20/08/2015	9:00:00	Cambio de diafragma de bomba Nº 3		05/09/2015	11:00:00	87,00	-2,67	1389,33	16,00	1,33	257,33		
4	24/10/2015	15:00:00	Rotura de carcasa en descarga de bomba Nº1		07/11/2015	9:00:00	49,00	2,67	786,67	14,00	-4,00	220,00		
	01/01/2016	0:00:00	Sin novedad		01/01/2016	0:00:00	55,00	-6,00	874,00	0,00	0,00	0,00		
						<b>TOTAL</b>			<b>4797,67</b>			<b>1037,00</b>		
EQUIPO SALE DE OPERACIÓN		EQUIPO. SKID DE POLIELECTROLITO		EQUIPO ENTRA EN OPERACIÓN		TBF			TTR			MTBF	MTTR	
FECHA	HORA	CAUSA DE PARO POR MODOS DE FALLO		FECHA	HORA	DIAS	HORAS	HORAS	DIAS	HORAS	HORAS			
1	03/02/2015	10:30:00	Rotura de carcasa descarga de bomba Nº2		18/02/2015	11:00:00	33,00	1,67	529,67	15,00	0,33	240,33	1714,56	230,33
2	07/06/2015	14:00:00	Fuga de aceite bomba Nº1		22/06/2015	13:00:00	109,00	2,00	1746,00	15,00	-0,67	239,33		
3	19/10/2015	10:00:00	Cambio de diafragma de bomba Nº 2		01/11/2015	15:00:00	119,00	-2,00	1902,00	13,00	3,33	211,33		
	01/01/2016	0:00:00	Sin novedad		01/01/2016	0:00:00	61,00	-10,00	966,00	0,00	0,00	0,00		
						<b>TOTAL</b>			<b>5143,67</b>			<b>691,00</b>		

EQUIPO SALE DE OPERACIÓN		EQUIPO. MANIFOLDS DE CLORO	EQUIPO ENTRA EN OPERACIÓN		TBF			TTR			MTBF	MTTR
FECHA	HORA	CAUSA DE PARO POR MODOS DE FALLO	FECHA	HORA	DIAS	HORAS	HORAS	DIAS	HORAS	HORAS		
1	26/01/2015											
2	12:30:00	Desgaste de flexibles de cadmio en manifold de celda de carga N°2	26/01/2015	15:00:00	25,00	3,00	403,00	0,00	1,67	1,67	<b>970,89</b>	<b>1,56</b>
3	11/03/2015		11/03/2015									
3	9:00:00	Cambio de Yoke en celda de carga N°1		11:00:00	44,00	-4,00	700,00	0,00	1,33	1,33		
4	05/05/2015		05/05/2015									
4	10:00:00	Fuga en válvulas de aguja en manifold de celdas de carga		13:30:00	55,00	-0,67	879,33	0,00	2,33	2,33		
5	17/08/2015	Desgaste de flexibles de cadmio en manifold de celda de carga N°1	17/08/2015	15:00:00	104,00	-0,33	1663,67	0,00	1,33	1,33		
6	28/10/2015	Reparación de válvula de corte en manifold de celda de carga N°1	28/10/2015	13:00:00	72,00	-4,00	1148,00	0,00	2,67	2,67		
	01/01/2016	0:00:00	01/01/2016	0:00:00	65,00	-8,67	1031,33	0,00	0,00	0,00		
					<b>TOTAL</b>			<b>5825,33</b>		<b>9,33</b>		

EQUIPO SALE DE OPERACIÓN		EQUIPO. BOMBAS PARA ARRASTRE DE CLORO	EQUIPO ENTRA EN OPERACIÓN		TBF			TTR			MTBF	MTTR
FECHA	HORA	CAUSA DE PARO POR MODOS DE FALLO	FECHA	HORA	DIAS	HORAS	HORAS	DIAS	HORAS	HORAS		
1	16/03/2015											
	10:30:00	Reparación de motor N°1	23/03/2015	14:00:00	74,00	1,67	1185,67	7,00	2,33	114,33	<b>2806,97</b>	<b>113,33</b>
2	30/07/2015		06/08/2015									
	9:00:00	Fuga por sello mecánico bomba N°2		9:30:00	129,00	-3,33	2060,67	7,00	0,33	112,33		
	01/01/2016	0:00:00	01/01/2016	0:00:00	148,00	-0,40	2367,60	0,00	0,00	0,00		
					<b>TOTAL</b>			<b>5613,94</b>		<b>226,67</b>		

EQUIPO SALE DE OPERACIÓN		EQUIPO. CONJUNTO DE DOSIFICACION DE CLORO	EQUIPO ENTRA EN OPERACIÓN		TBF			TTR			MTBF	MTTR
FECHA	HORA	CAUSA DE PARO POR MODOS DE FALLO	FECHA	HORA	DIAS	HORAS	HORAS	DIAS	HORAS	HORAS		
1	09/02/2015											
	9:30:00	Reparación de reguladores de vacío Celda N°1 y N°2	21/02/2015	10:00:00	39,00	1,00	625,00	12,00	0,33	192,33	<b>1766,89</b>	<b>178,00</b>
2	21/04/2015		01/05/2015									
	11:00:00	Daño en válvulas de corte en swich over		13:30:00	59,00	0,67	944,67	10,00	1,67	161,67		
3	14/09/2015		25/09/2015									
	9:00:00	Reparación de dosificador de cloro N°1 y N°2		15:00:00	136,00	-3,00	2173,00	11,00	4,00	180,00		
	01/01/2016	0:00:00	01/01/2016	0:00:00	98,00	-10,00	1558,00	0,00	0,00	0,00		
					<b>TOTAL</b>			<b>5300,67</b>		<b>534,00</b>		

EQUIPO SALE DE OPERACIÓN		EQUIPO. BOMBA DE TRASVASE DE SULFATO DE ALUMINIO	EQUIPO ENTRA EN OPERACIÓN		TBF			TTR			MTBF	MTTR	
FECHA	HORA	CAUSA DE PARO POR MODOS DE FALLO	FECHA	HORA	DIAS	HORAS	HORAS	DIAS	HORAS	HORAS	1736,44	208,44	
1	17/03/2015	8:30:00	Fuga por el sello mecánico de la bomba	25/03/2015	8:00:00	75,00	0,33	1200,33	8,00	-0,33			127,67
2	07/07/2015	14:00:00	Reparación de la bomba	23/07/2015	15:30:00	104,00	4,00	1668,00	16,00	1,00			257,00
3	27/08/2015	11:00:00	Rebobinado de motor	11/09/2015	12:00:00	35,00	-3,00	557,00	15,00	0,67			240,67
	01/01/2016	0:00:00	Sin novedad	01/01/2016	0:00:00	112,00	-8,00	1784,00	0,00	0,00			0,00
					TOTAL			5209,33			625,33		

EQUIPO SALE DE OPERACIÓN		EQUIPO. PREPARACION DE POLIELECTROLITO	EQUIPO ENTRA EN OPERACIÓN		TBF			TTR			MTBF	MTTR	
FECHA	HORA	CAUSA DE PARO POR MODOS DE FALLO	FECHA	HORA	DIAS	HORAS	HORAS	DIAS	HORAS	HORAS	2682,50	234,83	
1	30/03/2015	9:30:00	Agitador de cuba de distribución dañado	15/04/2015	15:00:00	88,00	1,00	1409,00	16,00	3,67			259,67
2	21/07/2015	11:30:00	Fuga de aceite bomba N°1	03/08/2015	14:30:00	97,00	-2,33	1549,67	13,00	2,00			210,00
	01/01/2016	0:00:00	Sin novedad	01/01/2016	0:00:00	151,00	-9,67	2406,33	0,00	0,00			0,00
					TOTAL			5365,00			469,67		

EQUIPO SALE DE OPERACIÓN		EQUIPO. CONJUNTO HIDRONEUMATICO	EQUIPO ENTRA EN OPERACIÓN		TBF			TTR			MTBF	MTTR	
FECHA	HORA	CAUSA DE PARO POR MODOS DE FALLO	FECHA	HORA	DIAS	HORAS	HORAS	DIAS	HORAS	HORAS	932,83	39,61	
1	22/01/2015	9:30:00	Daño de válvulas check	25/01/2015	15:30:00	21,00	1,00	337,00	3,00	4,00			52,00
2	27/02/2015	15:00:00	Cambio de válvulas de control de aire tanques hidroneumáticos	02/03/2015	12:30:00	33,00	-0,33	527,67	3,00	-1,67			46,33
3	06/05/2015	8:00:00	Purga defectuosa de tanques	08/05/2015	16:00:00	65,00	-3,00	1037,00	2,00	5,33			37,33
4	24/06/2015	13:00:00	Fuga en accesorios succión de bombas	26/06/2015	15:00:00	47,00	-2,00	750,00	2,00	1,33			33,33
5	04/08/2015	9:00:00	Fuga de agua retorno de válvula de control de aire	05/08/2015	14:30:00	39,00	-4,00	620,00	1,00	3,67			19,67
6	11/08/2015	9:00:00	Daño de válvulas check	14/08/2015	10:30:00	6,00	-3,67	92,33	3,00	1,00			49,00
	01/01/2016	0:00:00	Sin novedad	01/01/2016	0:00:00	140,00	-7,00	2233,00	0,00	0,00			0,00
					TOTAL			5597,00			237,67		

**Tabla 3.2 Cálculos CDM (Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad) a los equipos críticos**

EQUIPO SALE DE OPERACIÓN		EQUIPO. SKID DE SULFATO DE ALUMINIO	Taza de fallas $\lambda = 1/MTBF$	Taza de Reparacion $\mu = 1/MTTR$	CONFIABILIDAD $R(t) = e^{-\lambda t}$	MANTENIBILIDAD $M(t) = 1 - e^{-\mu t}$	DISPONIBILIDAD $D = R(t) / M(t)$
FECHA	HORA	CAUSA DE PARO POR MODOS DE FALLO	<b>0,00083</b>	<b>0,00386</b>	<b>67,02%</b>	<b>84,30%</b>	<b>79,50%</b>
1	15/01/2015 10:30:00	Rotura de tornillo de diafragma de bomba N°1					
2	07/05/2015 14:00:00	Fuga de aceite bomba N°2					
3	20/08/2015 9:00:00	Cambio de diafragma de bomba N° 3					
4	24/10/2015 15:00:00	Rotura de carcasa en descarga de bomba N°1					
	01/01/2016 0:00:00	Sin novedad					

EQUIPO SALE DE OPERACIÓN		EQUIPO. SKID DE POLIELECTROLITO	Taza de fallas $\lambda = 1/MTBF$	Taza de Reparacion $\mu = 1/MTTR$	CONFIABILIDAD $R(t) = e^{-\lambda t}$	MANTENIBILIDAD $M(t) = 1 - e^{-\mu t}$	DISPONIBILIDAD $D = R(t) / M(t)$
FECHA	HORA	CAUSA DE PARO POR MODOS DE FALLO	<b>0,00058</b>	<b>0,00434</b>	<b>75,58%</b>	<b>87,56%</b>	<b>86,32%</b>
1	03/02/2015 10:30:00	Rotura de carcasa descarga de bomba N°2					
2	07/06/2015 14:00:00	Fuga de aceite bomba N°1					
3	19/10/2015 10:00:00	Cambio de diafragma de bomba N° 2					
	01/01/2016 0:00:00	Sin novedad					

EQUIPO SALE DE OPERACIÓN		EQUIPO. MANIFOLDS DE CLORO	Taza de fallas $\lambda = 1/MTBF$	Taza de Reparacion $\mu = 1/MTTR$	CONFIABILIDAD $R(t) = e^{-\lambda t}$	MANTENIBILIDAD $M(t) = 1 - e^{-\mu t}$	DISPONIBILIDAD $D = R(t) / M(t)$
FECHA	HORA	CAUSA DE PARO POR MODOS DE FALLO	<b>0,00103</b>	<b>0,64286</b>	<b>60,99%</b>	<b>100,00%</b>	<b>60,99%</b>
1	26/01/2015	Desgaste de flexibles de cadmio en manifold de celda de carga N°2					
2	12:30:00						
3	11/03/2015	Cambio de Yoke en celda de carga N°1					
4	05/05/2015	Fuga en válvulas de aguja en manifold de celdas de carga					
5	17/08/2015	Desgaste de flexibles de cadmio en manifold de celda de carga N°1					
6	28/10/2015	Reparación de válvula de corte en manifold de celda de carga N°1					
	01/01/2016	0:00:00 Sin novedad					

EQUIPO SALE DE OPERACIÓN		EQUIPO. BOMBAS PARA ARRASTRE DE CLORO	Taza de fallas $\lambda = 1/MTBF$	Taza de Reparacion $\mu = 1/MTTR$	CONFIABILIDAD $R(t) = e^{-\lambda t}$	MANTENIBILIDAD $M(t) = 1 - e^{-\mu t}$	DISPONIBILIDAD $D = R(t) / M(t)$
FECHA	HORA	CAUSA DE PARO POR MODOS DE FALLO	<b>0,00036</b>	<b>0,00882</b>	<b>84,28%</b>	<b>98,55%</b>	<b>85,52%</b>
1	16/03/2015	Reparación de motor N°1					
2	30/07/2015	Fuga por sello mecánico bomba N°2					
	01/01/2016	0:00:00 Sin novedad					

EQUIPO SALE DE OPERACIÓN		EQUIPO. CONJUNTO DE DOSIFICACION DE CLORO	Taza de fallas $\lambda = 1/MTBF$	Taza de Reparacion $\mu = 1/MTTR$	CONFIABILIDAD $R(t) = e^{-\lambda t}$	MANTENIBILIDAD $M(t) = 1 - e^{-\mu t}$	DISPONIBILIDAD $D = R(t) / M(t)$
FECHA	HORA	CAUSA DE PARO POR MODOS DE FALLO	<b>0,00057</b>	<b>0,00562</b>	<b>76,21%</b>	<b>93,26%</b>	<b>81,72%</b>
09/02/2015	9:30:00	Reparación de reguladores de vacio Celda N°1 y N°2					
21/04/2015	11:00:00	Daño en válvulas de corte en swich over					
14/09/2015	9:00:00	Reparación de dosificador de cloro N°1 y N°2					
01/01/2016	0:00:00	Sin novedad					

EQUIPO SALE DE OPERACIÓN		EQUIPO. BOMBA DE TRASVASE DE SULFATO DE ALUMINIO	Taza de fallas $\lambda = 1/MTBF$	Taza de Reparacion $\mu = 1/MTTR$	CONFIABILIDAD $R(t) = e^{-\lambda t}$	MANTENIBILIDAD $M(t) = 1 - e^{-\mu t}$	DISPONIBILIDAD $D = R(t) / M(t)$
FECHA	HORA	CAUSA DE PARO POR MODOS DE FALLO	<b>0,00058</b>	<b>0,00480</b>	<b>75,85%</b>	<b>90,00%</b>	<b>84,27%</b>
17/03/2015	8:30:00	Fuga por el sello mecánico de la bomba					
07/07/2015	14:00:00	Reparación de la bomba					
27/08/2015	11:00:00	Rebobinado de motor					
01/01/2016	0:00:00	Sin novedad					



EQUIPO SALE DE OPERACIÓN		EQUIPO. PREPARACION DE POLIELECTROLITO	Taza de fallas $\lambda = 1/MTBF$	Taza de Reparacion $\mu = 1/MTTR$	CONFIABILIDAD $R(t) = e^{-\lambda t}$	MANTENIBILIDAD $M(t) = 1 - e^{-\mu t}$	DISPONIBILIDAD $D = R(t) / M(t)$	
FECHA	HORA	CAUSA DE PARO POR MODOS DE FALLO	<b>0,00037</b>	<b>0,00426</b>	<b>83,62%</b>	<b>87,05%</b>	<b>96,06%</b>	
1	30/03/2015	9:30:00						Agitador de cuba de distribución dañado
2	21/07/2015	11:30:00						Fuga de aceite bomba N°1
	01/01/2016	0:00:00						Sin novedad

EQUIPO SALE DE OPERACIÓN		EQUIPO. CONJUNTO HIDRONEUMATICO	Taza de fallas $\lambda = 1/MTBF$	Taza de Reparacion $\mu = 1/MTTR$	CONFIABILIDAD $R(t) = e^{-\lambda t}$	MANTENIBILIDAD $M(t) = 1 - e^{-\mu t}$	DISPONIBILIDAD $D = R(t) / M(t)$	
FECHA	HORA	CAUSA DE PARO POR MODOS DE FALLO	<b>0,00107</b>	<b>0,02525</b>	<b>59,78%</b>	<b>100,00%</b>	<b>59,78%</b>	
1	22/01/2015	9:30:00						Daño de válvulas check
2	27/02/2015	15:00:00						Cambio de válvulas de control de aire tanques hidroneumáticos
3	06/05/2015	8:00:00						Purga defectuosa de tanques
4	24/06/2015	13:00:00						Fuga en accesorios succión de bombas
5	04/08/2015	9:00:00						Fuga de agua retorno de válvula de control de aire
6	11/08/2015	9:00:00						Daño de válvulas check
	01/01/2016	0:00:00						Sin novedad

### 3.8. Conclusiones del Capítulo

En la Tabla 3.3 se muestra el consolidado de los resultados obtenidos, en donde se observa con porcentajes los indicadores CDM. Además de esto se presenta en el Diagrama 3.3 de barras la relación de cada uno de los parámetros respecto a cada equipo crítico. Con estos resultados se establece una escala respecto a metas alcanzables que se encuentren dentro de los rangos con CRITERIO de NCM<80 (No conformidad mayor), 90 > NC > 80 (No conformidad) y C>90 (Conforme).

**Tabla 3.3 Consolidado de resultados CDM de equipos**

EQUIPOS CRITICOS	CRITERIO					
	C >90		90 > NC > 80		NCM < 80	
	CONFIABILIDAD		MANTENIBILIDAD		DISPONIBILIDAD	
SKID DE SULFATO DE ALUMINIO	67,0%	NCM	84,3%	NC	79,5%	NCM
SKID DE POLIELECTROLITO	75,6%	NCM	87,6%	NC	86,3%	NC
MANIFOLDS DE CLORO	61,0%	NCM	100,0%	C	61,0%	NCM
BOMBAS PARA ARRASTRE DE CLORO	84,3%	NC	98,6%	C	85,5%	NC
CONJUNTO DE DOSIFICACION DE CLORO	76,2%	NCM	93,3%	C	81,7%	NC
BOMBA DE TRASVASE DE SULFATO DE ALUMINIO	75,8%	NCM	90,0%	NC	84,3%	NC
PREPARACION DE POLIELECTROLITO	83,6%	NC	87,0%	NC	96,1%	C
CONJUNTO HIDRONEUMATICO	59,8%	NCM	100,0%	C	59,8%	NCM

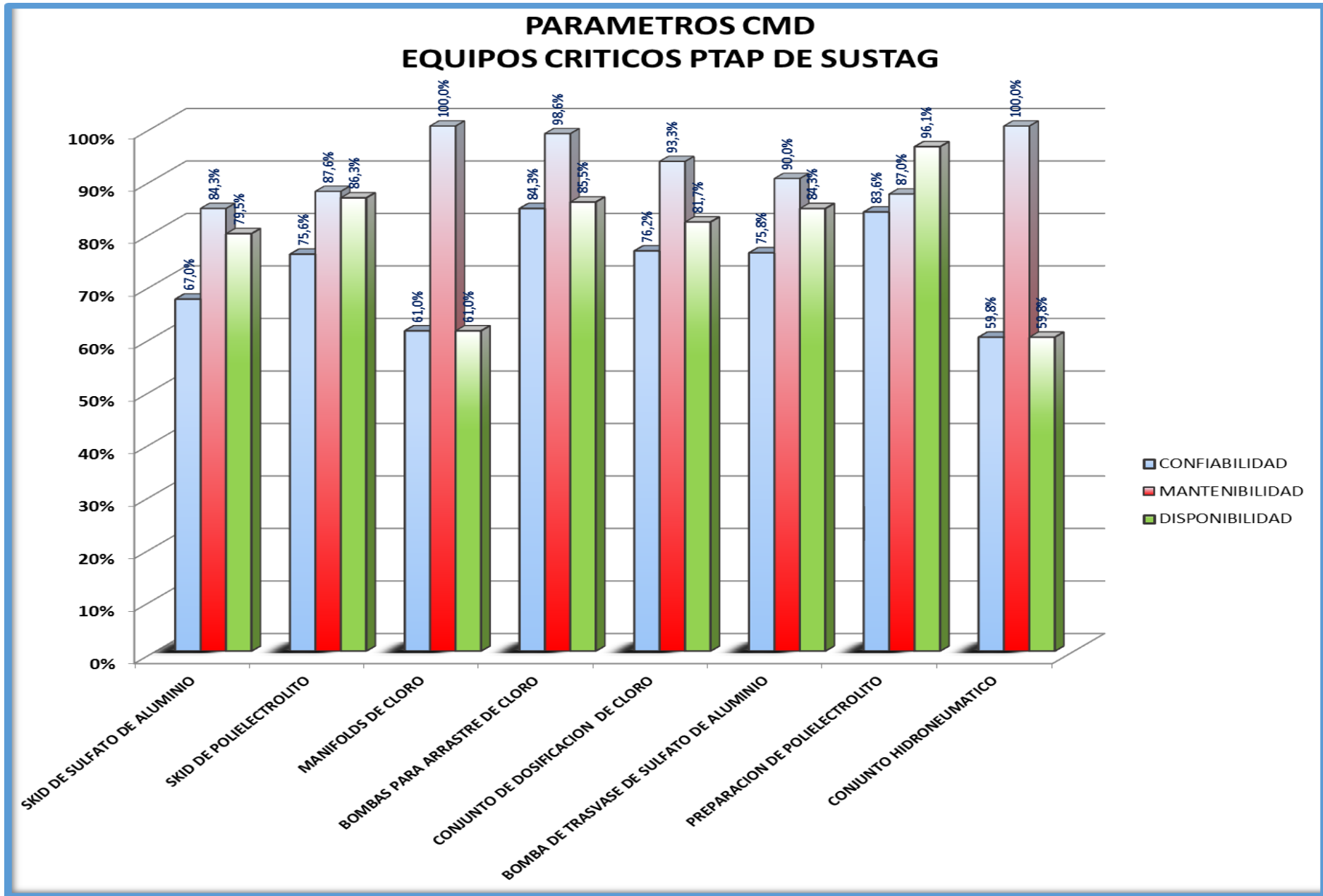
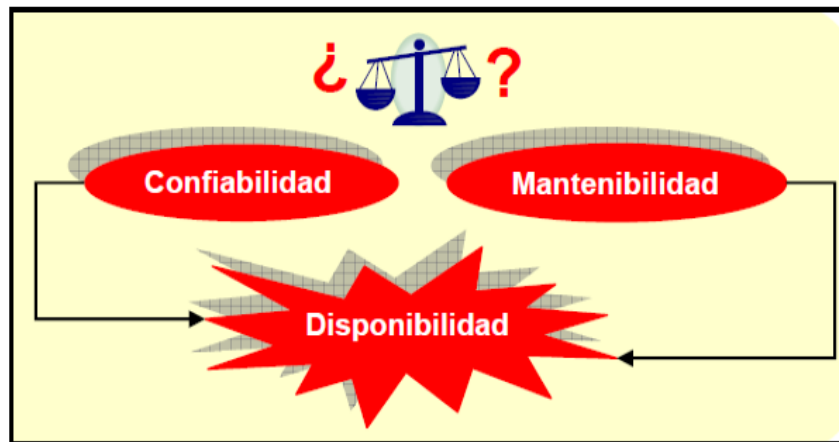


Gráfico 3.3 Diagrama de barras, parámetros CDM equipos críticos

Para aumentar la producción en una planta (Sexto, 2005), es indispensable que las tres disciplinas disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad se relacionen entre sí, de tal manera que si se quiere aumentar la disponibilidad en una planta, sistema o equipo, se debe aumentar la confiabilidad, expresada por el MTBF, Reducir el tiempo empleado en la reparación, expresado por el MTTR, es decir aumentar el MTBF y reducir el MTTR simultáneamente.

En el Gráfico 3.4 se observa que el grado de Disponibilidad queda determinado por el resultado del comportamiento de la Confiabilidad y mantenibilidad del Activo.



**Gráfico 3.4 La Disponibilidad como resultado de la Confiabilidad y Mantenibilidad**

(Sexto, 2005)

## CAPITULO 4

### 4. PROPUESTA DE MEJORAS A LA GESTION DE MANTENIMIENTO

#### 4.1. ANTECEDENTES

En este capítulo, a partir de los resultados obtenidos en los capítulos anteriores, se plantea una propuesta de mejora a la Gestión de Mantenimiento en la PTAP de Sustag como se muestra en el Gráfico 4.1



**Gráfico 4.1 Representación del trabajo realizado**

Estas mejoras deben ser reflejadas en indicadores de gestión que evidencie lo más cercanamente posible la situación real del mantenimiento dentro de la Planta.

#### **4.1.1. *Propuestas respecto a la Auditoria***

En este análisis se revelan muchas oportunidades de mejora, las mismas que son abordadas y tratadas de acuerdo a los parámetros de conformidades desglosando las actividades requeridas para situar a cada una de las funciones de mantenimiento dentro de los parámetros de conformidad descritos.

En el diagrama de radar de las áreas funcionales se grafican explícitamente cuales son los puntos débiles y que requieren de una mayor atención para irlos mejorando, así mismo se sugiere una auditoría periódica de cada año para ir contrastando los resultados respecto al anterior, esto soportado en un Plan de auditorías.

Como se observa en la Tabla 1.6 Grado de madurez, el mantenimiento se encuentra entre las fases dos y tres lo cual nos indica el estado del mantenimiento y esto a su vez con las mejoras continuas en el tiempo poder llegar a los estados o fases de madurez más altos.

En este contexto el indicador final de auditoría a la gestión de mantenimiento es el porcentaje promedio (ver tabla 1.7) de todas las áreas funcionales en cada uno de los rangos de conformidad, en donde se puede cuantificar el indicador actual y en el que se puede proponer una meta, la Tabla 4.1 visualiza lo expuesto.

<b>INDICADORES DE AUDITORIA (AREAS FUNCIONALES)</b>	<b>ACTUAL</b>	<b>META</b>
<b>% DE NO CONFORMIDAD MAYOR &lt;40%</b>	<b>29.75 %</b>	<b>10 %</b>
<b>% DE NO CONFORMIDAD MENOR 40&lt;NCm&lt;70%</b>	<b>35.38 %</b>	<b>15 %</b>
<b>% DE CONFORMES &gt; 70%</b>	<b>34.85 %</b>	<b>75 %</b>

**Tabla 4.1 Indicadores de auditoría a las Áreas Funcionales de mantenimiento**

Los indicadores que se plantean como Meta son propuestos en base al porcentaje de los indicadores de Conformes que se encuentran alrededor del 35% y el cual está fuera del rango muy por debajo del referencial, con lo que bajando un 20% aproximadamente a los porcentajes de no conformidades mayores y menores se alcanzaría la meta esperada, luego logradas las metas alcanzadas y aplicando la mejora continua se pueden plantear metas más altas. Este indicador se propone para ser revisado semestralmente.

#### **4.1.2. Respecto al análisis de criticidad.**

Como se explica claramente en el capítulo correspondiente, es de mucha importancia ya que permite dirigir esfuerzos y recursos a los equipos críticos sin dejar de lado a los semicríticos y no críticos, los cuales en algún momento pueden llegar a ser equipo crítico por lo que se sugiere revisar el cálculo de análisis de criticidad al menos cada año o cuando exista un cambio importante en la configuración o adquisición de nuevos equipos.

#### **4.1.3. Indicadores CDM para la PTAP de Sustag.**

En cuanto a los indicadores de la *confiabilidad operacional*, todos son muy importantes y deben decir realmente la situación real de cada equipo.

Como se dijo anteriormente en el capítulo 3 la disponibilidad depende de cuan frecuente se producen los fallos (confiabilidad) y de cuánto tiempo se requiere para corregir dicho fallo (mantenibilidad).

Cabe acotar que una reparación o sustitución no tienen que necesariamente devolver al activo o sistema, a un nivel de confiabilidad igual o superior al que tenía cuando nuevo. Existen diferentes estados en que puede quedar un activo después de labores preventivas o correctivas, (Sexto, 2005) estos estados son:

- Tan bueno como nuevo
- Mejor que antes de fallar pero peor que nuevo
- Mejor que nuevo
- Tan malo como antes de fallar
- Peor que antes de fallar

Corresponderá determinar objetivamente en que situación ha quedado el activo objeto de intervención, luego de haber restaurado nuevamente su función. De la seriedad de este análisis dependerá la evaluación de la confiabilidad en el contexto sin la creación de falsas expectativas de desempeño.

De tal manera que si se quiere aumentar la disponibilidad en una Planta, sistema o equipo, se debe:

- Aumentar la confiabilidad, expresada por el MTBF
- Reducir el tiempo empleado en la reparación, expresado por el MTTR
- Aumentar el MTBF y reducir el MTTR simultáneamente.

Es importante hacer notar que se requiere cuantificar la confiabilidad del activo para poder evaluarlo con lo cual para estos indicadores se propone realizar su cálculo trimestralmente debido a que dependen de la tasa de fallos y de la tasa de reparación y con esto tener un tiempo prudente para volver a calcular estas tazas.

Como se observa en el capítulo tres de análisis CDM a los equipos críticos, se pueden establecer metas alcanzables en estos parámetros partiendo de la tabulación de datos de esta primera corrida, por lo que se presenta en la Tabla 4.2 los indicadores actuales (Promedios de la Tabla 3.3) y las metas CDM propuestas para Indicadores de mantenimiento en la PTAP de Sustag.

<b>INDICADORES CMD</b>	<b>ACTUAL</b>	<b>META</b>
<b>CONFIABILIDAD</b>	<b>73%</b>	<b>80%</b>
<b>MANTENIBILIDAD</b>	<b>92%</b>	<b>95%</b>
<b>DISPONIBILIDAD</b>	<b>79%</b>	<b>85%</b>

**Tabla 4.2 Indicadores CDM**

La Gerencia de Mantenimiento está sustituyendo los viejos valores por paradigmas de excelencia de mayor nivel. La práctica de Ingeniería de Confiabilidad, la gestión de activos, la medición de los indicadores y la gestión de la disponibilidad; así como la reducción de los costes de mantenimiento constituyen los objetivos primordiales de las



empresas enfocadas a asegurar la calidad de gestión de la organización de mantenimiento.

Los Indicadores de mantenimiento y los sistemas de planificación empresarial asociados al área de efectividad permiten evaluar el comportamiento operacional de las instalaciones, sistemas, equipos, dispositivos y componentes de esta manera será posible implementar un plan de mantenimiento orientado a perfeccionar la labor de mantenimiento. (Amendola, 2011)

Actualmente se tienen únicamente como indicadores de mantenimiento el porcentaje de cierre de órdenes de trabajo cíclicas que son de orden preventivo y ordenes de trabajo directas que son de orden correctiva como se indican en la Tabla 4.2 que son generados automáticamente en el Sismac y un resumen mensual de indicadores de gestión como indica la Tabla 4.3.

**Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento "ETAPA.EP"**

**TABULACION DE INDICADORES DE MANTENIMIENTO ELECTROMECHANICO**

**CODIGO: FO-SOAS-MTTOEM-10-05-2016**

**Fomulario Vigente: Versión 000. Fecha Versión: 15-07-2015**

**Aprobado por: Supervisor de Mantenimiento Electromecánico**

<b>MES</b>	ABRIL
<b>RESPONSABLE</b>	PATRICIA ARMIJOS SUPERVISORA DE MANTENIMIENTO
<b>PROCESO</b>	AGUA POTABLE
<b>FRECUENCIA</b>	MENSUAL

ORDENES CICLICAS		Cumplimiento	No. Ots Cíclicas
CEBOLLAR	MTTOE	100,00%	7
	MTTOM	100,00%	17
TIXAN	MTTOE	100,00%	16
	MTTOM	100,00%	16
SUSTAG	MTTOE	100,00%	8
	MTTOM	100,00%	9
ORDENES DIRECTAS		Cumplimiento	No. Ots Directas
CEBOE	MTTOE	100,00%	1
CEBOM	MTTOM	90,33%	30
TIXE	MTTOE	91,64%	11
TIXM	MTTOM	100,00%	2
SUSE	MTTOE	77,50%	4
SUSM	MTTOM	100,00%	3
TYZ4	MTTOZ4		0
<i>Eficacia del cumplimiento del mantenimiento electromecánico CORRECTIVO del Servicio de Agua Potable</i>		<b>93,25%</b>	<i>Cód.: I03-GOAS03</i>

**Tabla 4.3 Indicadores Actuales de Mantenimiento electromecánico**

**Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca "ETAPA.EP"**

**Resumen Mensual de Indicadores de Gestión**

Formulario Vigente: Versión 011.  
Fecha: 07-03-2016

CODIGO: FO-SOAS-GI-RMIDG-31-03-2016

Aprobado por el Representante de la Dirección.

Proceso	Indicador	Fórmula	Valor meta	Frecuencia medición	Responsable del Reporte	VALOR OBTENIDO	OBSERVACIONES
Mantenimiento Electromecanico Cebollar	% cumplimiento de Ordenes de Trabajo	Promedio{ [Tabulación de datos extraídos del SISMAC % (Ordenes Cíclicas Cerradas / Ordenes Cíclicas Emitidas] Mecánico & [Tabulación de datos extraídos del SISMAC % (Ordenes Cíclicas Cerradas / Ordenes Cíclicas Emitidas] Eléctrico ]}	Mayor al 90%	Mensual	Patricia Armijos	100%	CUMPLE
Mantenimiento Electromecanico Tixán						100%	CUMPLE
Mantenimiento Electromecanico Sustag						100%	CUMPLE
Mantenimiento Electromecanico Distribución Tomebamba						100%	CUMPLE
Mantenimiento Electromecanico Distribución Machángara						100%	CUMPLE
Mantenimiento Electromecanico Distribución Yanuncay						100%	CUMPLE

**Tabla 4.4 Resumen mensual de indicadores de gestión**

## 4.2. MANTENIMIENTO CON UN ENFOQUE EN PROCESOS

Los resultados deseados son alcanzados más eficientemente, cuando las actividades y recursos relacionados se los administra como un proceso, de esta manera se debe entender al proceso como: “El conjunto de actividades interdependientes, que haciendo uso de los recursos e insumos que dispone la organización se le agrega valor, para obtener finalmente un resultado o producto esperado por el cliente interno o externo” (Grupo Novatech 2012). Estos procesos deben ser controlados para asegurar que generen de manera continua, resultados previsibles y satisfactorios, para lo cual es indispensable asignar los propósitos, objetivos, indicadores cuantitativos, responsables, y un procedimiento operativo.

En Gráfico 4.2 se muestra el proceso de mejora continua.

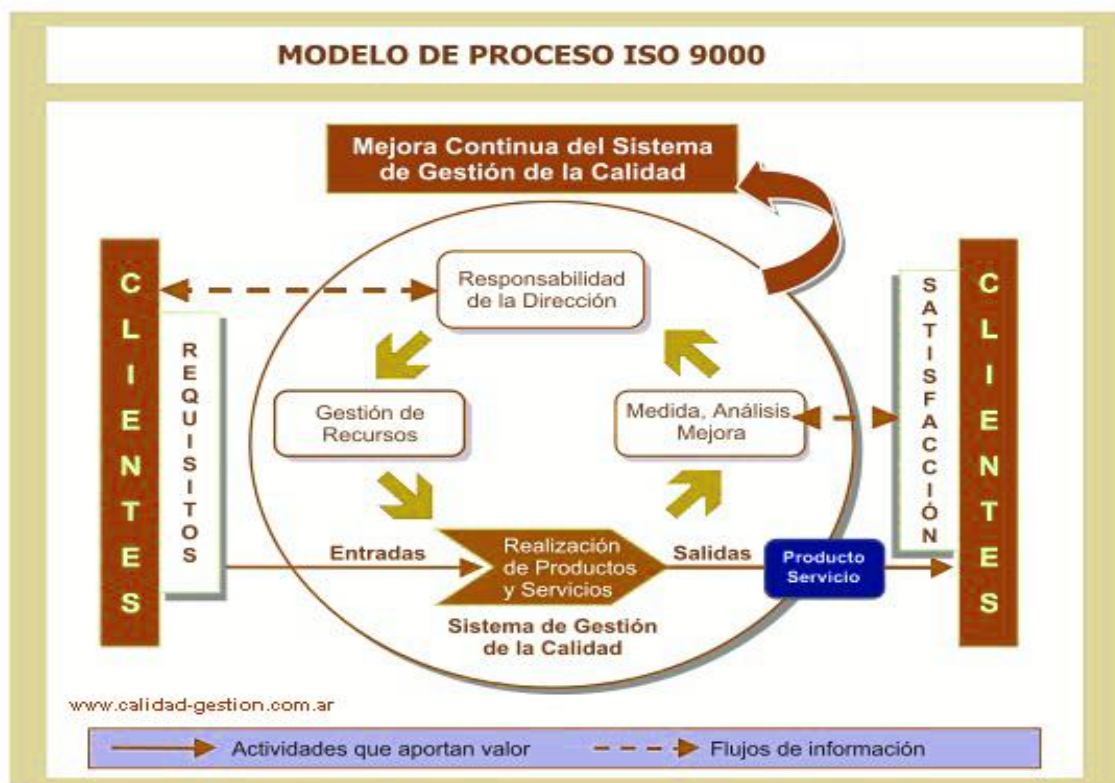


Gráfico 4.2 Enfoque basado en procesos

Norma ISO 9001 - 2000

### **4.3. TEORÍAS APLICADAS A LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO**

Para cumplir con las metas propuestas es importante tener en cuenta algunas estrategias de mantenimiento como base para las mejoras requeridas, cada una en sí son estrategias que pueden desarrollarse completamente, las cuales se describen en síntesis a continuación.

#### **4.3.1. Mantenimiento Productivo Total (TPM)**

Es un sistema gerencial de soporte al progreso industrial, que permite con la participación activa de toda la organización tener equipos de producción siempre listos. Su metodología, soportada por múltiples técnicas de gestión, las teorías de la calidad total y del kaisen Japonés, establece las practicas adecuadas para mejorar la productividad, la rentabilidad y la competitividad empresarial.

El TPM es un sistema destinado a lograr la eliminación de las seis grandes pérdidas de los equipos, a los efectos de poder hacer factible la producción “justa in time” la cual tiene como objetivos primordiales la eliminación sistemática de desperdicios.

(Nakajima, 1991)

Estas seis grandes pérdidas se hallan directa o indirectamente relacionadas con los equipos dando lugar a reducciones en la eficiencia del sistema productivo en tres aspectos fundamentales:

- Tiempos muertos o paros del sistema productivo
- Funcionamiento a velocidad inferior a la capacidad de los equipos
- Productos defectuosos o malfuncionamiento de las operaciones en un equipo.

#### **4.3.2. Mantenimiento Basado en Condición (MBC)**

Se lleva a cabo con base en el estado determinado de los activos, que se establece vigilando los parámetros claves de operación. Para poder medir estas condiciones se utilizan técnicas de análisis y diagnóstico muy amplio y pruebas no destructivas.

(Palencia, 2013)

#### **4.3.3. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)**

Es un enfoque sistemático para diseñar planes que eleven la confiabilidad operacional de los equipos con un mínimo costo y riesgo, el objetivo primario es conservar la función del sistema antes que del activo. (Moubray, 2004)

El RCM o Mantenimiento centrado en la Confiabilidad reconoce que el mantenimiento no puede más que asegurar que los elementos físicos continúan consiguiendo su capacidad incorporada, confiabilidad inherente.

La función determinada de cualquier equipo puede definirse de muchas formas dependiendo exactamente de donde y como se esté usando (contexto operacional)

Como resultado de esto, cualquier intento de formular o revisar las políticas de mantenimiento deberían comenzar con las funciones y estándares de funcionamiento asociados a cada elemento en su contexto operacional presente.

Una definición más amplia de RCM propone ser un proceso que se usa para determinar lo que debe hacerse para asegurar que un elemento físico continúe desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional presente.

#### **4.3.4. Optimización del Mantenimiento Planeado (PMO)**

Es una metodología diseñada para revisar los requerimientos de mantenimiento, historial de fallas y la información técnica de todos los activos en operación.

Esta estrategia facilita el diseño de un marco de trabajo racional, rentable, seguro y eficiente, cuando un sistema de mantenimiento preventivo se encuentra consolidado y la Planta se tiene bajo control. (Palencia, 2013)

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Finalmente se describen las conclusiones y recomendaciones del análisis realizado, proponiendo mejoras respecto a los temas tratados en la gestión de mantenimiento, utilizando estrategias y herramientas de confiabilidad, y al mejorar la gestión realizada, los indicadores de mantenibilidad y disponibilidad de la maquinaria también lo harán.

### 5.1. Conclusiones

- La Auditoría realizada muestra como en una foto en tiempo real del departamento de mantenimiento y su gestión y evidencia los puntos débiles que son oportunidades de mejora.
- Antes de este análisis no se tenía idea de cuáles son los equipos críticos que influyen directamente en la producción de agua, por lo que al presentar una lista jerarquizada de equipos se puede dar prioridad a los trabajos de mantenimiento optimizando y direccionando mejor los recursos de la empresa.
- Los indicadores de Mantenimiento electromecánico necesitan ser revisados ya que al tener por lo general tabulaciones del 100% daría a entender que no se necesita cambiar ni mejorar nada, cuando todo proceso siempre necesita ser revisado y mejorado.
- El Mantenimiento es una disciplina dinámica, que necesita ser constantemente retroalimentada con la información generada para ser replanificada y reprogramada.
- Tener personal dedicado a tiempo completo al cálculo de los indicadores, (Auditoría, Criticidad, Confiabilidad) los mismos que son de suprema importancia para tener una claridad en la gestión de mantenimiento, la mejora continua requiere de compromiso y de revisiones periódicas de sus procesos.
- Los formatos generados en este análisis son el apoyo que se requiere para recopilar la información necesaria para una buena gestión y administración de los datos calculados.

- La Gestión de Mantenimiento es un proceso que puede ser tratado independientemente, se puede llevar a cabo con la implementación de normas como la ISO 55000 u otras normas específicas para el mantenimiento.

## **5.2. Recomendaciones**

- Revisar periódicamente la ficha de procesos e incluir o excluir indicadores que luego de las respectivas revisiones sean pertinentes o no en la ficha.
- Desarrollar planes de capacitación al personal involucrado específicamente en temas de confiabilidad, manejo de softwares, bases de datos, etc.
- Las funciones sugeridas para el personal técnico que se hagan cargo de la Planificación y Programación del Mantenimiento son: recopilar toda la información ya sea del SISMAC de hodómetros, cálculos de indicadores, etc. para procesarla analizarla y proponer planes de mantenimiento, definir tareas y actividades de mantenimiento a realizar en las máquinas y generar la documentación necesaria para realizar el mismo y de coordinar con producción cuando intervenir en base al plan de mantenimiento desarrollado, programando recursos, tanto personal, repuestos, insumos, etc. para ejecutar el mantenimiento y en base a los resultados que se obtienen del análisis anterior, generar planes y programas que garanticen el funcionamiento continuo de las máquinas, principalmente con seguridad y calidad.
- Implementar programas de TPM (Mantenimiento Productivo Total), RCM (Mantenimiento centrado en confiabilidad), MBC (Mantenimiento basado en condición), paso a paso en las Plantas, esto se debe llevar a cabo con el apoyo de los procesos gerenciales.
- Dentro de la Planeación de mantenimiento, considerar las auditorías, la criticidad de los equipos y calcular periódicamente como se recomienda los indicadores de confiabilidad.
- Coordinar con producción de manera que las actividades a realizar no influyan en generar desperdicios de recursos.



## **Bibliografía**

- Amendola, L. (2011). Indicadores de Confiabilidad. Propulsores en la Gestión del mantenimiento. Klaron, 4.
- Carmen Barrios, M. J. (2012). Areas funcionales para la evaluación del mantenimiento en empresas manufactureras y de servicios. Instituto Universitario de Tecnología del Estado de Trujillo, 25.
- García, S. (2009). Auditorias de Mantenimiento. Madrid: Editorial Renovetec.
- González, F. (2004). Auditoría del Mantenimiento e Indicadores de Gestión. Madrid: FC Editorial.
- Mora G, A. (2013). Mantenimiento, Planeación Ejecución y Control. México: Alfaomega.
- Moubray, J. (2004). RCM II. Oxford: Buterworth - heinemann.
- Palencia, O. G. (2013). Confiabilidad Humana. Bogotá: Ediciones Legis.
- Parra, C. &. (2012). Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos. Ingeman, 23.
- PDVSA. (1999). Introducción a la confiabilidad operacional. Venezuela: Instituto de desarrollo profesional y técnico.
- Sexto, L. F. (2005). Confiabilidad integral del Activo. Radical Management, 10.