

TEC | Tecnológico
de Costa Rica

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA



***“Diseño del modelo de gestión de mantenimiento de las plantas
hidroeléctricas de GPG Costa Rica”***

**Informe de Práctica de Especialidad para optar por el Título
Ingeniero en Electromecánica, grado Licenciatura:**

Kevin Campos Esquivel

Cartago

Noviembre, 2018



engineerscanada **ingénieurscanada** Carrera evaluada y acreditada por:
Canadian Engineering Accreditation Board Bureau Canadien d'Accréditation des Programmes
d'Ingénierie

CARTA DE ENTENDIMIENTO

Fecha: 12 de noviembre de 2018

Señores
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Sistema de Bibliotecas del Tecnológico

Yo Kevin Mauricio Campos Esquivel
carné No. 200744718, si autorizo no autorizo, al Sistema de Bibliotecas del Tecnológico
(SIBITEC), disponer del Trabajo Final de graduación, del cual soy autor, para optar por el grado
de Licenciatura, en la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Industrial
, presentado en la fecha 14 noviembre de 2018, con el título
"Diseño del modelo de gestión de mantenimiento de las plantas hidroeléctricas de GPG Costa Rica"

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

Firma de estudiante: *Kevin M.C.*
Correo electrónico: camposkev@gmail.com
Cédula No.: 304360481

Profesor Guía

Ing. Juan Pablo Arias Cartín

Asesor Industrial

Sr. Arturo Porras Camacho

Tribunal Examinador

Ing. Luis Gómez G.

Ing. Gilberth Bonilla C.

Información del estudiante y de la empresa

Nombre: Kevin Campos Esquivel.

Cédula: 3-436-481

Carné ITCR: 200744718

Dirección de su residencia en época lectiva: Turrialba, 300m SO de Auto Pintores.

Teléfono en época lectiva: 8324-7954

Email: ***camposkev@gmail.com***

Información del Proyecto:

Nombre del Proyecto: Diseño del modelo de gestión de mantenimiento de las plantas hidroeléctricas de GPG Costa Rica.

Profesor Asesor: Juan Pablo Arias Cartín.

Horario de trabajo del estudiante: Lunes 7:00 am a 4:00 pm

Martes 7:00 am a 4:00 pm

Miércoles 7:00 am a 4:00 pm

Jueves 7:00 am a 4:00 pm

Información de la Empresa:

Nombre: Global Power Generación.

Zona: Turrialba

Dirección: Proyecto Hidroeléctrico Torito, Jabillos, Turrialba

Teléfono: 6048 3012

Actividad Principal: Generación Hidroeléctrica.

Dedicatoria

Dedicado especialmente a tres personas, que con su apoyo incondicional hicieron posible la consecución de este objetivo.

Para mi madre, gracias infinitas por darlo todo día a día, por convertirse en mi motivo para salir adelante y fomentar en mí el deseo de superación.

A mi padre, que en paz descansa, por enseñarme que la relación padre e hijo no depende de un lazo de sangre, por inculcarme el trabajo y la perseverancia.

Mi tía, mi segunda mamá, para la que siempre he sido su hijo de en medio, por siempre creer en mí y empujarme hasta en los momentos más difíciles.

Agradecimientos

Agradezco a todas esas personas que durante estos años de estudio se cruzaron en mi camino y contribuyeron con conocimiento, apoyo y buenas intenciones para que fuera posible la conclusión de este logro.

Para cada uno de los profesores de la carrera de Mantenimiento Industrial, porque de cada uno saque experiencia, valores y conocimiento valioso para mi carrera y para mi vida.

Al personal de Operación y Mantenimiento Energy Costa Rica, especialmente al Sr Arturo Porras Camacho, por creer en este proyecto y abrirme las puertas para desarrollarlo.

Resumen

La generación de energía eléctrica es un campo de crecimiento continuo, que no solamente beneficia a los consumidores, sino que, además, genera fuentes de empleo y ganancias para inversionistas nacionales y extranjeros. La empresa Global Power Generation, subsidiaria de Gas Natural Fenosa, de origen español, es parte de la fuerza de producción energética del país, mediante el manejo de dos plantas de generación hidroeléctrica: Torito y La Joya, que sumadas aportan un potencial de 100 MW al sistema eléctrico nacional. Por medio de Operación y Mantenimiento Energy Costa Rica, también subsidiaria de la matriz española, se controlan las operaciones de producción y el mantenimiento del Grupo GPG. Es a través del trabajo que realiza O&M Energy que se entabla la necesidad de mejora del Departamento de Mantenimiento, dedicado a velar por el óptimo funcionamiento de las generadoras.

Con la implementación de la auditoría de mantenimiento MES para determinar el grado de madurez del Departamento, que se toma como punto de partida para el análisis de la situación inicial, se concretan los conceptos base para plantear un plan de gestión de mantenimiento integral, activo y en constante mejora, el cual aproveche al máximo la empresa con los recursos tecnológicos y humanos disponibles.

Como parte de las implementaciones se desarrolla un programa 5S en Bodega General con el objetivo de incorporar Bodega de repuestos como un ente participativo en el desarrollo del plan de gestión. Además, con la elaboración del análisis de Pareto y al desarrollar la matriz crítica, dentro de los objetos de mantenimiento de la empresa, se logra implementar cinco etapas iniciales del plan de gestión, de esta forma se entablan las bases para la continuidad del modelo y el perfeccionamiento de los planes de mantenimiento aplicados dentro de las plantas del grupo Global Power Generation Costa Rica.

Abstract.

Electric power generation is an area of constant growth, which not only benefits consumers, but also generates sources of employment and profits for domestic and foreign investors. Global Power Generation, a subsidiary of the Spanish company Gas Natural Fenosa, is a part of the Costa Rican energy production force. Through the management of two hydroelectric generation plants: Torito and La Joya, Global Power Generation adds a potential of 100 MW to the national electricity system. Operación y Mantenimiento Energy Costa Rica, also a subsidiary of the Spanish parent company, is in charge of the production and maintenance operations of the GPG Group. It is through O&M Energy's work of the maintenance procedures that the need for improving the Maintenance Department was decided. This measure intends to ensure the optimal operation of the generators.

The MES maintenance audit was applied to determine the degree of maturity of the Maintenance Department, that was taken as a starting point to analyze the initial situation. The result is a maintenance plan that is comprehensive, active, and in constant improvement. This guarantees the company will make the most of its available technological and human resources.

As part of the implementations, a 5S program is implemented in General Warehouse area with the purpose of incorporating the Warehouse of spare parts storage together as a participative entity within the management plan. In addition, by developing Pareto analysis and developing the critical matrix within the maintenance objects of the company, the implementation of five initial stages of the management plan are achieved. This establishes the base for the continuity of the model and allows further improvement of the maintenance plans applied within the Global Power Generation's plants.

Tabla de Contenido

Información del estudiante y de la empresa	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos	iv
Resumen	v
Abstract.....	vi
Tabla de Contenido.....	vii
Índice de Figuras	xiii
Índice de Tablas.....	xv
Índice de Gráficos	xviii
Introducción	19
1.1 Justificación.....	20
1.2 Objetivos	21
1.2.1 Objetivo General	21
1.2.2 Objetivos Específicos	21
1.3 Generalidades de la empresa.....	22
1.3.1 Misión.....	23
1.3.2 Visión	24
1.3.3 Proceso productivo.....	24
1.3.4 Proceso de generación de GPG Costa Rica.....	26
1.4 Descripción del problema a resolver.....	27
1.5 Viabilidad.....	28
1.6 Metodología a emplear.....	29
1.7 Alcance	32

1.8	Cronograma del proyecto	33
2	Marco Teórico.....	35
2.1	Mantenimiento.....	35
2.2	Estructura Organizacional	36
2.2.1	Mantenimiento Centralizado	36
2.3	Mantenimiento Preventivo	38
2.4	Indicadores de mantenimiento.....	38
2.4.1	Indicadores de clase mundial	39
2.5	Auditoría de Mantenimiento: “MAINTENANCE EFFECTIVENESS SURVEY (MES)”	40
2.6	Auditoría de 5 S.....	42
2.7	Análisis de Pareto	44
2.7.1	Características	46
2.8	Modelo de Gestión de Mantenimiento	46
2.8.1	Fases del Modelo de Gestión	48
2.9	Análisis de Criticidad	54
3	Situación Actual	55
3.1	Estructura organizacional de GPG Costa Rica	55
3.1.1	Desglose del organigrama.....	57
3.2	Estado del mantenimiento	58
3.2.1	Aplicación del Preventivo.....	62
3.2.2	Software APIPRO 9.....	64
3.2.3	Orden de trabajo	64

3.2.4	Codificación.....	68
3.3	Indicadores de mantenimiento.....	70
3.3.1	Cantidad de Ordenes de Trabajo.....	70
3.3.2	Disponibilidad.....	72
4	Auditoría de Mantenimiento	74
4.1	Resultados obtenidos de la aplicación de la auditoría MES al Departamento de Mantenimiento de GPG Costa Rica.....	75
4.2	Análisis del margen de la auditoría.....	81
4.2.1	Recursos Gerenciales	82
4.2.2	Gerencia de la Información.....	84
4.2.3	Equipos y Técnicas de Mantenimiento Preventivo.....	85
4.2.4	Planificación y Ejecución	86
4.2.5	Soporte, Calidad y Motivación	87
4.3	Expectativas de mejora	88
4.3.1	Mejoras por área de mantenimiento	90
5	Auditoría 5 S.....	94
5.1	Recomendaciones de la auditoría 5S.....	94
5.2	Propuestas de mejora para el 5S	98
5.2.1	Procedimientos de mejora	98
5.3	Implementación de Mejoras.....	99
5.3.1	Aspectos mejorados	99
5.4	Costos de implementación de mejoras	106

6	Aplicación de la regla de Pareto.....	107
	6.1 Pareto Torito	107
	6.2 Pareto La Joya	110
	6.3 Análisis de Pareto	112
	6.3.1 Análisis Torito.....	112
	6.3.2 Análisis La Joya	115
7	Modelo de Gestión de Mantenimiento Propuesto.....	117
	7.1 Fase 1. Análisis de la situación actual.....	119
	7.2 Fase 2. Jerarquización de Equipos.....	119
	7.3 Fase 3. Puntos Débiles	120
	7.4 Fase 4. Diseño del plan de mantenimiento.....	120
	7.5 Fase 5. Programación del mantenimiento	121
	7.6 Fase 6. Ejecución del mantenimiento	121
	Fase 7. Análisis del Ciclo	122
	Fase 8: Mejora Continua.....	122
8	Implementación del Modelo de Gestión	123
	8.1 Fase 1. Objetivos y Estrategias	123
	8.1.1 Mejoras de la auditoría MES	123
	8.1.2 Estructura Organizacional Propuesta	125
	8.1.3 Enfoque del Departamento de Mantenimiento.....	128
	8.1.4 Manejo de Indicadores	129
	8.2 Fase 2. Selección de Equipos Críticos	132
	8.2.1 Metodología de análisis de la matriz de criticidad.....	132
	8.2.2 Análisis de Criticidad	136

8.3	Fase 3: Fallas Comunes.....	144
8.4	Fase 4: Estudio del Plan de Mantenimiento.....	146
8.4.1	Sistema de Turbina La Joya	146
8.4.2	Sistema de Drenaje Torito	161
8.5	Fase 5: Modificaciones del Programa de Mantenimiento.....	168
8.5.1	Periodicidad del mantenimiento de Sistema de Turbina La Joya. 169	
8.5.2	Periodicidad del mantenimiento de Sistema de Drenaje Torito 170	
9	Conclusiones	173
10	Recomendaciones.....	174
11	Bibliografía	175
12	Anexos	177
12.1	Anexo 1. Auditoría MES	177
	Encuesta sobre la efectividad del mantenimiento (MES).....	177
	Recursos Gerenciales.....	177
	Gerencia de la Información (software de mantenimiento).....	179
	Equipos y técnicas de mantenimiento preventivo.....	180
	Planificación y ejecución	181
	Soporte, Calidad y Motivación.....	182
12.2	Anexo 2. Auditoría 5S.....	183
12.3	Anexo 3. Mejoramiento del 5S.....	187
12.4	Anexo 4. Croquis de demarcación de Bodega.....	191
12.5	Anexo 5. Codificación KKS Torito.....	192
12.6	Anexo 6. Codificación La Joya	193
12.7	Anexo 7. Análisis de Criticidad La Joya	194

12.8	Anexo 8. Análisis de criticidad Torito	196
12.9	Anexo 9. Formato M0068	198
12.10	Anexo 10. Formato M0019	199
12.11	Anexo 11. Formato M 0008	200
12.12	Anexo 12. Formato M 0009	201
12.13	Anexo 13. Formato M 0010	202
12.14	Anexo 14. Formato M 0011	203
12.15	Anexo 15. Formato M 0040	204
12.16	Anexo 16. Formato M 0003	205
12.17	Anexo 17. Formato M 0004	206
12.18	Anexo 18. Formato M 0005	207
12.19	Anexo 19. Formato M 0006	208
12.20	Anexo 20. Formato M 0052	209
12.21	Anexo 21. Mantenimiento de cojinete de turbina	210
12.22	Anexo 22. Formato M 0096	226
12.23	Anexo 23. Formato M 0097	227

Índice de Figuras

FIGURA 1.1. HIDROELÉCTRICA LA JOYA.....	22
FIGURA 1.2. HIDROELÉCTRICA TORITO	23
FIGURA 1.3. LOGO GPG	24
FIGURA 1.4. PROCESO PRODUCTIVO	26
FIGURA 1.5. PROGRAMACIÓN DEL PROYECTO.....	33
FIGURA 1.6. DIAGRAMA DE GANT DEL PROYECTO	34
FIGURA 2.1. MANTENIMIENTO CENTRALIZADO	37
FIGURA 2.2. ORGANIGRAMA BÁSICO	37
FIGURA 2.3. CICLO 5 S	44
FIGURA 2.4. REGLA 80-20.....	45
FIGURA 2.5. CICLO DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO	48
FIGURA 2.6. MODELO DEL PROCESO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO.....	49
FIGURA 2.7. MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	52
FIGURA 2.8. MATRIZ DE CRITICIDAD	54
FIGURA 3.1. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DE GPG COSTA RICA.....	56
FIGURA 3.2. HOJA 1 PLAN PREVENTIVO LA JOYA.....	62
FIGURA 3.3. HOJA 2 PLAN PREVENTIVO LA JOYA.....	63
FIGURA 3.4. HOJA 3 PLAN PREVENTIVO LA JOYA.....	63
FIGURA 3.5. INTERFAZ APIPRO 9.....	64
FIGURA 3.6. GENERADOR DE OT	65
FIGURA 3.7. ÓRDENES DE TRABAJO PLANIFICADAS	65
FIGURA 3.8. ORDEN DE TRABAJO	67
FIGURA 3.9. CODIFICACIÓN KKS DE MÁQUINA PRINCIPAL.....	69
FIGURA 4.1. PASOS PARA REALIZAR UNA AUDITORÍA	75
FIGURA 4.2. DIAGRAMA ISHIKAWA, MEJORAS DEL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO	93
FIGURA 5.1. EXTINTOR DE BODEGA	95
FIGURA 5.2. ÁREA DE MÁQUINAS Y EQUIPO.....	95
FIGURA 5.3. CENTRO DE CARGA DE BODEGA GENERAL.....	96
FIGURA 5.4. BODEGA GENERAL	97
FIGURA 5.5. BASUREROS DE BODEGA.....	97
FIGURA 5.6. FICHA DE INSPECCIÓN DE EXTINTOR.....	99

FIGURA 5.7. ROTULACIÓN DE EXTINTOR	100
FIGURA 5.8. LÁMPARA DE EMERGENCIA	100
FIGURA 5.9. RUTA DE EVACUACIÓN.....	101
FIGURA 5.10. FLECHA DE SEÑALIZACIÓN	101
FIGURA 5.11. ROTULACIÓN	102
FIGURA 5.12. ESTANTE DE REPUESTOS.....	103
FIGURA 5.13. CENTRO DE CARGA	103
FIGURA 5.14. ROTULACIÓN DE APAGADORES.....	104
FIGURA 5.15. ROTULACIÓN DE TOMA CORRIENTE	104
FIGURA 5.16. DEMARCACIÓN DE PISOS	105
FIGURA 5.17. BASURERO BODEGA GENERAL	105
FIGURA 7.1. MODELO DE GESTIÓN PROPUESTO	118
FIGURA 8.1. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO.....	126

Índice de Tablas

TABLA 1.1. ETAPAS DEL PROYECTO	29
TABLA 3.1. COSTO DEL PREVENTIVO (DESDE 01/01/2017 HASTA 30/06/2018)	60
TABLA 3.2. COSTO DEL CORRECTIVO (DESDE 01/01/2017 HASTA 30/06/2018)	61
TABLA 3.3. INDICADORES DE ORDENES DE TRABAJO 1	71
TABLA 3.4. INDICADORES DE ORDENES DE TRABAJO 2	71
TABLA 3.5. PRESUPUESTO OPERATIVO LA JOYA	73
TABLA 4.1. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA MES POR ÁREA Y NÚMERO DE ENCUESTA.....	76
TABLA 4.2. CUADRO RESUMEN DE AUDITORÍA MES	77
TABLA 4.3. ESCALA DE PUNTUACIÓN MES	77
TABLA 4.4. CALIFICACIÓN PROMEDIO RECURSOS GERENCIALES.....	83
TABLA 4.5. CALIFICACIÓN PROMEDIO GERENCIA DE LA INFORMACIÓN	84
TABLA 4.6. CALIFICACIÓN PROMEDIO EQUIPOS Y TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	85
TABLA 4.7. CALIFICACIÓN PROMEDIO PLANIFICACIÓN Y EJECUCIÓN	86
TABLA 4.8. CALIFICACIÓN PROMEDIO SOPORTE, CALIDAD Y MOTIVACIÓN	88
TABLA 4.9. DATOS DE EXPECTATIVA DE LA AUDITORÍA MES.....	89
TABLA 5.1. COSTOS DE MEJORAS DEL 5 S	106
TABLA 6.1. GRUPOS DE FALLA TORITO.....	108
TABLA 6.2. ELEMENTOS POCOS VITALES TORITO	109
TABLA 6.3. GRUPOS DE FALLA LA JOYA	110
TABLA 6.4. ELEMENTOS POCOS VITALES LA JOYA	111
TABLA 6.5. OM VÍAS FLUVIALES	112
TABLA 6.6. OM MÁQUINA PRINCIPAL.....	113
TABLA 6.7. OM SUMINISTRO DE AGUA Y DRENAJE.....	114
TABLA 6.8. OM SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.....	114
TABLA 6.9. OM GRUPO PRINCIPAL.....	115
TABLA 6.10. OM SISTEMAS COMUNES.....	116
TABLA 8.1. INICIATIVAS DE MEJORA PROPUESTAS	124
TABLA 8.2. COSTO DE IMPLEMENTACIÓN.....	128
TABLA 8.3. IMPACTO EN LA DISPONIBILIDAD	133
TABLA 8.4. DAÑO AL AMBIENTE.....	133
TABLA 8.5. SEGURIDAD	134

TABLA 8.6. VALOR DE FRECUENCIA DE FALLA.....	134
TABLA 8.7. VALOR DE CONSECUENCIA POR FALLA.....	135
TABLA 8.8. RANGO DE CRITICIDAD.....	136
TABLA 8.9. ANÁLISIS DE CRITICIDAD LA JOYA.....	138
TABLA 8.10. OBJETOS DE MANTENIMIENTO CRÍTICOS LA JOYA.....	141
TABLA 8.11. ANÁLISIS DE CRITICIDAD TORITO.....	142
TABLA 8.12. OBJETOS DE MANTENIMIENTO CRÍTICOS TORITO.....	144
TABLA 8.13. ELEMENTOS DE MAYOR CRITICIDAD, LA JOYA.....	145
TABLA 8.14. ELEMENTOS DE MAYOR CRITICIDAD, TORITO.....	145
TABLA 8.15. RAMIFICACIÓN DE SISTEMA DE TURBINA.....	147
TABLA 8.16. PLAN PREVENTIVO SISTEMA DE TURBINA, LA JOYA.....	148
TABLA 8.17. RELACIÓN DE OM CON ACCIONES PREVENTIVAS.....	149
TABLA 8.18. OM NO RELACIONADOS AL PLAN.....	150
TABLA 8.19. I&C COJINETE DE TURBINA.....	151
TABLA 8.20. I&C CÁMARA ESPIRAL Y ANTE DISTRIBUIDOR.....	152
TABLA 8.21. I&C DISTRIBUIDOR.....	153
TABLA 8.22. I&C TURBINA.....	154
TABLA 8.23. INSPECCIÓN GRUPO OLEO.....	155
TABLA 8.24. INSPECCIÓN SEMESTRAL DE TURBINA.....	156
TABLA 8.25. INSPECCIÓN DEL DISTRIBUIDOR.....	157
TABLA 8.26. INSPECCIÓN ANUAL DE TURBINA.....	158
TABLA 8.27. INSPECCIÓN DE CÁMARA ESPIRAL.....	159
TABLA 8.28. INSPECCIÓN DE COJINETE DE TURBINA.....	160
TABLA 8.29. PLAN PREVENTIVO DRENAJE TORITO.....	161
TABLA 8.30. REVISIÓN DE ARMARIOS ELÉCTRICOS.....	162
TABLA 8.31. INSPECCIÓN MECÁNICA DRENAJES.....	163
TABLA 8.32. I&C FOSO DRENAJE.....	164
TABLA 8.33. INSPECCIÓN BOMBAS SUMERGIBLES.....	165
TABLA 8.34. REVISIÓN ELÉCTRICA DE BOMBAS.....	166
TABLA 8.35. REVISIÓN ELÉCTRICA BOMBA VACIADO 1.....	166
TABLA 8.36. REVISIÓN MECÁNICA DE BOMBAS.....	167
TABLA 8.37. INSPECCIÓN MECÁNICA BOMBA DE VACIADO 1.....	168
TABLA 8.38. PLANEAMIENTO DEL SISTEMA DE TURBINA.....	170

TABLA 8.39. PLANEAMIENTO DEL SISTEMA DE DRENAJE 172

Índice de Gráficos

GRÁFICO 2.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS MES	41
GRÁFICO 3.1. MANTENIMIENTO POR HORAS	59
GRÁFICO 4.1. RECURSOS GERENCIALES	78
GRÁFICO 4.2. GERENCIA DE LA INFORMACIÓN	78
GRÁFICO 4.3. EQUIPOS Y TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	79
GRÁFICO 4.4. PLANIFICACIÓN Y EJECUCIÓN	79
GRÁFICO 4.5. SOPORTE, CALIDAD Y MOTIVACIÓN	80
GRÁFICO 4.6. RESULTADOS DE AUDITORÍA MES	81
GRÁFICO 4.7. ANÁLISIS DEL MARGEN	82
GRÁFICO 4.8. EXPECTATIVA DE LA AUDITORÍA	89
GRÁFICO 6.1. PARETO TORITO	109
GRÁFICO 6.2. PARETO LA JOYA	111
GRÁFICO 8.1. MATRIZ DE CRITICIDAD PROPUESTA.....	136
GRÁFICO 8.2. MATRIZ DE CRITICIDAD LA JOYA	140
GRÁFICO 8.3. MATRIZ DE CRITICIDAD TORITO	143

Introducción

La gestión del mantenimiento es una necesidad real dentro de cualquier organización que desee garantizar su continuidad operativa y adecuado desempeño funcional. El modelo estructura una guía funcional para la administración y la mejora continua de las actividades de mantenimiento. Dentro de sus cualidades es que una guía de gestión busca que toda la organización forme parte del cumplimiento de los objetivos por los que se trabaja en el día a día, mediante la aplicación de estrategias enfocadas en la mejora de los procedimientos y las actividades propias del mantenimiento.

Su aplicación trae consigo cambios organizacionales esenciales para su implementación y beneficios perceptibles dentro del desarrollo de los planes de mantenimiento y del accionar de los miembros del departamento.

1.1 Justificación

Dentro de Operación y Mantenimiento Energy se cuenta con elementos básicos para el desarrollo del mantenimiento tales como software, órdenes de trabajo, planes de mantenimiento preventivo y un organigrama establecido. A nivel interno, se tiene el conocimiento de la importancia de estos elementos para el correcto funcionamiento del departamento de mantenimiento, pero se necesita la correlación de todos estos aspectos, su correcta implementación, análisis y mejora continua. Para enlazarlos llevarlos a un ciclo de aplicación y mejora es necesario el desarrollo de un modelo de gestión de mantenimiento que se adapte a las necesidades y expectativas de la empresa.

La carencia de un modelo de gestión de mantenimiento dentro de las plantas se ve reflejada en la ausencia de métodos de medición de rendimiento, análisis de indicadores y conocimiento de la disponibilidad real de los equipos. Esto viene sumado a que la toma de datos realizada en las actividades de mantenimiento no es clara en autoevaluaciones o retroalimentaciones sobre el estado real de equipos y procedimientos ni en el aprovechamiento de la información para generar conocimiento y estrategias nuevas que ayuden al estudio de la factibilidad de las acciones que se realizan.

Un estudio de la gestión de mantenimiento aunado a una aplicación de auditoría brinda el estatus real de la empresa en cuanto al departamento, localiza los puntos de mejora y entabla las herramientas iniciales para generar planes que engloben los objetivos tanto del departamento como de la empresa. Todo esto debe estar enlazado con las actividades y los planes de mantenimiento programado de las plantas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Diseñar el modelo de gestión de mantenimiento de las plantas hidroeléctricas de GPG Costa Rica, basado en la mejora y el enlace de los elementos de mantenimiento ya existentes y que le permita al departamento de mantenimiento garantizar la productividad de la empresa.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Determinar el estado actual del departamento de mantenimiento mediante el análisis de la estructura y los planes de mantenimiento programado existentes, aplicando el método de la auditoría MES.
2. Implementar el sistema 5S en la bodega general de la planta Torito como una herramienta que ayude a su incorporación activa dentro del modelo de gestión de mantenimiento.
3. Determinar mediante el uso del análisis de Pareto las fallas más frecuentes y los sistemas de mayor impacto dentro de ambas plantas.
4. Distinguir los indicadores de mantenimiento aplicables a la planta por medio del estudio de la documentación y los historiales de equipos, paros y actividades de mantenimiento efectuados.
5. Diseñar el modelo de Gestión de mantenimiento aplicable a las plantas hidroeléctricas Torito y La Joya, apoyado en la implementación conjunta de su base de datos y el plan anual de mantenimiento programado existente.
6. Determinar los requerimientos a seguir para la puesta en marcha del Modelo de Gestión de Mantenimiento.

1.3 Generalidades de la empresa

Global Power Generation (GPG) es una compañía especializada en el negocio de la producción de energía eléctrica que desarrolla y gestiona activos de generación con un enfoque global utilizando las tecnologías hidráulica, solar, eólica y de combustible fósil (GPG Folleto Corporativo).

GPG posee dos plantas de trabajo hidroeléctrico en Costa Rica, las cuales trabajan sobre la cuenca del río Reventazón. Por un lado, una de ellas es La Joya ubicada en el sector de Oriente del cantón de Jiménez de Cartago, la cual se alimenta del agua liberada por la Represa de Cachí. Una planta con una potencia de generación de 50 MW, cuenta con tres turbinas tipo Francis y tres generadores de 19.875 kVA. La Joya fue registrada en Naciones Unidas en 2007 como proyecto de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).



Figura 0.1. Hidroeléctrica La Joya
Fuente: <http://96.0.100.178/GaleriaJoya.aspx>

Por otro lado, la hidroeléctrica Torito, la cual se ubica en el sector de Pavones de Turrialba y se alimenta del embalse Angostura. Una planta con una potencia de generación de 50 MW, cuenta con dos turbinas tipo francis que están conectadas a dos generadores de 37,5 MVA.



Figura 0.2. Hidroeléctrica Torito

Fuente: <https://www.grupocopisa.com/proyectos/proyectos-industriales/mineria-y-energia/proyecto-hidroelectrico-torito-costa-rica/>

Ambas plantas bajo el manejo de GPG rige sus valores y principios según los estándares de Gas Natura Fenosa, los cuales son:

1.3.1 Misión

- Atender las necesidades energéticas de la sociedad al ofrecer productos y servicios de calidad respetuosos con el medio ambiente.
- Atender las necesidades de nuestros accionistas al brindarles una rentabilidad creciente y sostenible.
- Atender las necesidades de nuestros empleados al otorgarles la posibilidad de desarrollar sus competencias profesionales.

1.3.2 Visión

- Ser líderes en continuo crecimiento con presencia multinacional al proporcionar un servicio de calidad a nuestros clientes.
- Ofrecer una rentabilidad sostenida a nuestros accionistas.
- Ofrecer amplias oportunidades de desarrollo profesional y personal a nuestros empleados.
- Contribuir positivamente a la sociedad, a través de un compromiso de ciudadanía global.



Figura 0.3. Logo GPG

Fuente: <http://www.globalpower-generation.com/wp-content/uploads/2016/12/Logo-GPG.jpg>

1.3.3 Proceso productivo

El proceso productivo general de GPG consta de la generación de energía eléctrica por medio de turbinas Francis verticales mediante el aprovechamiento de las aguas y la caída del cauce del río Reventazón.

1.3.3.1 Generadora La Joya

Las aguas salientes de la producción hidroeléctrica de la Planta Cachí se desvían inicialmente hacia un Tanque de Cabecera en donde se captan y se encauzan hacia la conducción, que es un túnel de 8 km de longitud y un diámetro de 5,6 m que transporta las aguas hasta el Tanque de Carga, el cual permite un

almacenamiento de una cantidad importante de agua para la flexibilidad de la operación coordinada de Cachí y La Joya, además cumple la función de Tanque de Oscilación. Después, pasa a la Tubería de Presión, la cual conduce el agua, finalmente, hasta la Casa de Máquinas en donde se lleva a cabo el proceso de generación por medio de 3 turbinas que suman un total de 50 MW de potencia, esto para luego salir al Canal de Restitución que retorna las aguas al cauce del río Reventazón.

La energía producida viaja desde la subestación de La Joya por la línea de transmisión de 138 kV y una longitud de 7,5 km hasta la subestación de Cachí en donde el ICE dispone de esta.

1.3.3.2 Hidroeléctrica Torito

Las aguas turbinadas de la planta hidroeléctrica Angostura son captadas mediante la Toma y se encauzan hacia el túnel de conducción, de 3,5 km de longitud y un diámetro de 7 m, que transporta las aguas de hasta la Cámara de Carga, que permite un almacenamiento de agua importante para la flexibilidad de la operación coordinada de Angostura y Torito. Posteriormente, se dirige a Casa de Máquinas por medio de la tubería de presión, la cual cuenta con un tanque de Oscilación que le permite evitar golpes de ariete y elevaciones bruscas de presión para entrar en los 2 generadores que suman 50 MW y luego al Canal de Desfogue que sale directo al cauce del río Reventazón.

Las plantas de GPG Costa Rica suman un total de 100 MW de generación en el país, lo que los convierte en los mayores productores privados de energía en Costa Rica (www.globalpower-generation.com).

1.3.4 Proceso de generación de GPG Costa Rica

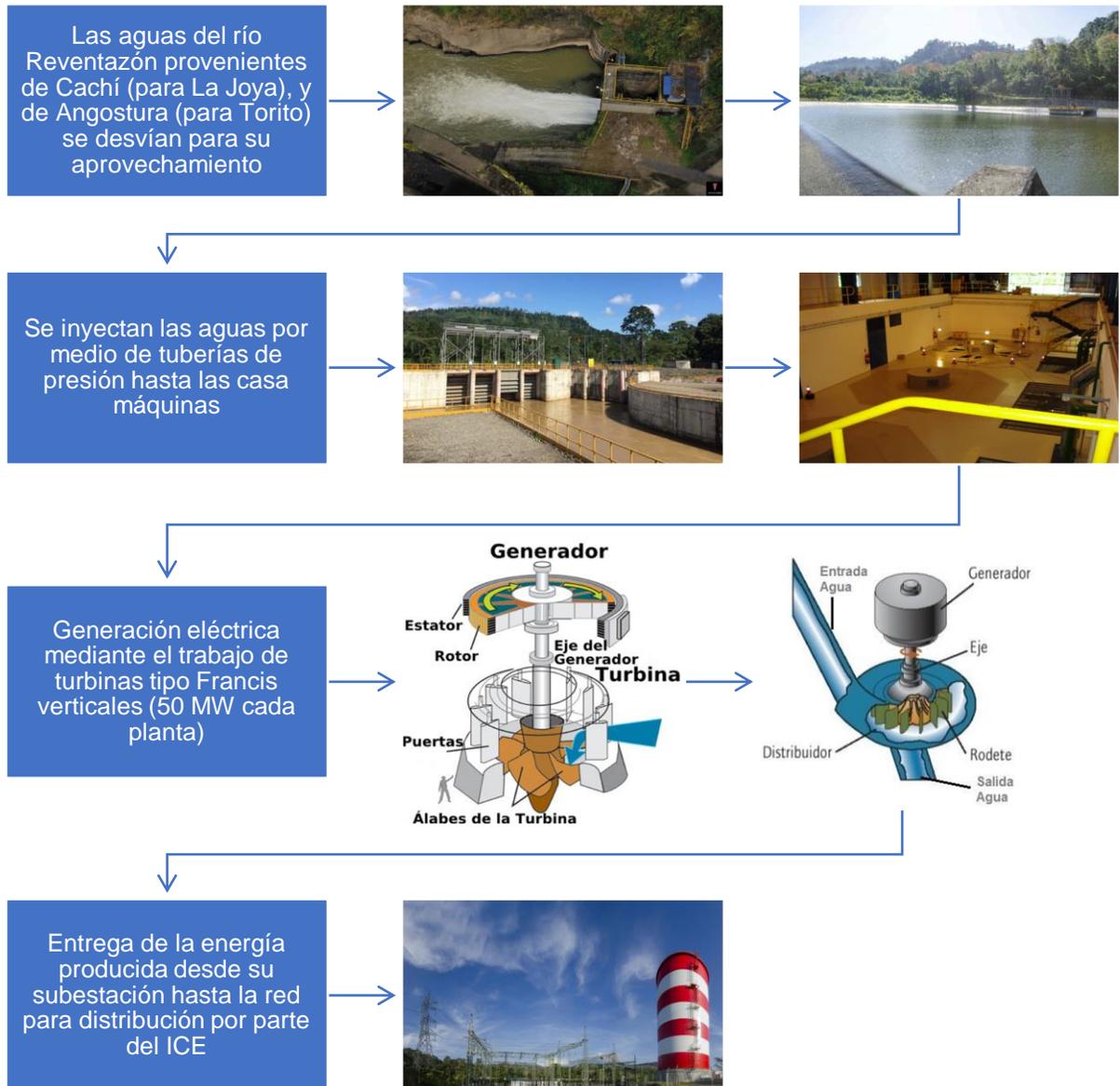


Figura 0.4. Proceso productivo
Fuente: Elaboración propia

1.4 Descripción del problema a resolver

La problemática actual de la empresa se refleja en sus actividades de mantenimiento, ya que, a pesar de aplicar planes de mantenimiento preventivo, las de tipo correctivo siguen siendo las que requieren mayor inversión de horas del personal de trabajo, lo que genera mayor movilización de los recursos sin previa planificación y un aumento en los costos variables de la empresa.

La ocurrencia de estas intervenciones afecta la disponibilidad de las unidades de generación y crea costos económicos debido a las paradas no programadas por lo que se considera importante su disminución mediante la planificación y aplicación adecuada del mantenimiento preventivo.

Al no poseer indicadores aplicados directamente para el control por parte del Departamento de Mantenimiento se desconoce la efectividad, además los datos recopilados en las actividades de mantenimiento no son procesados ni interpretados y se quedan archivados con el proceso de las órdenes de trabajo.

Aunado a la disminución del mantenimiento correctivo, se requiere determinar los puntos fuertes y las carencias del plan preventivo vigente para dictar qué actividades resultan funcionales y económicamente viables así como cuáles están generando sobre mantenimiento y con ello desperdicio de recurso humano y monetario.

1.5 Viabilidad

El proyecto es viable, ya que su implementación en la empresa generaría valor agregado al manejo y aplicación del mantenimiento de ambas plantas. También, su seguimiento solucionaría el problema de planificación y organización de aquellos de mantenimiento y la disminución de las acciones correctivas.

Para el desarrollo del proyecto en general se cuenta con la disponibilidad de recurso humano y económico de Operación y Mantenimiento, pues a lo interno es conocida la necesidad de reducir la aplicación de las actividades correctivas y de mejorar, paulatinamente, los planes de mantenimiento preventivo. La elaboración del proyecto tendrá una duración aproximada de 15 semanas para su fase de propuesta teórica, se estima un periodo de 6 meses para la implementación del ciclo total de gestión por parte de la empresa e, idealmente, se propone una evaluación anual de los planes y programas implementados con el fin de lograr el proceso de mejora continua.

1.6 Metodología a emplear

Se realizan las siguientes tablas de actividades a cumplir como metodología a emplear para el cumplimiento del proyecto.

Tabla 0.1. Etapas del Proyecto

Objetivo	Actividad	Herramienta
1. Determinar el estado actual del departamento de mantenimiento mediante el análisis de la estructura y los planes de mantenimiento programado existentes, aplicando el método de la auditoría MES.	Reconocer las plantas hidroeléctricas Torito y La Joya	Rutas de reconocimiento.
	Iniciar con el estudio de la estructura organizacional existente.	Datos de la organización interna de Operación y Mantenimiento Energy.
	Implementar la auditoría de mantenimiento.	Cuestionario de auditoría MES.
	Análisis de la información recopilada de la auditoría de mantenimiento.	Tabulador de Excel 2013 y Graficador Minitab2017.
2. Implementar el sistema 5S en la bodega general de la planta Torito como una herramienta que ayude a su	Implementar auditoría 5S en la bodega de la planta Torito.	Hoja de evaluación de 5S.
	Formulación y aplicación de mejoras como resultado de la auditoría 5S.	Colaboración del personal de la planta (Jefe de Operación y Mantenimiento, Ingeniero de Seguridad, Bodeguero, Ayudantes de Mecánicos).

incorporación activa dentro del modelo de gestión de mantenimiento.		
3. Determinar mediante el uso del análisis de Pareto las fallas más frecuentes y los sistemas de mayor impacto dentro de ambas plantas.	Análisis de la información recopilada de los equipos y de las órdenes de trabajo sobre reparaciones anteriores.	Extracción de base de datos de APIPRO 9.
4. Distinguir los indicadores de mantenimiento aplicables a la planta por medio del estudio de la documentación y los historiales de equipos, paros y actividades de mantenimiento efectuados.	Determinar mediante el estudio del historial de trabajos realizados las fallas y acciones más frecuentes	Aplicación de la regla de Pareto.
4. Distinguir los indicadores de mantenimiento aplicables a la planta por medio del estudio de la documentación y los historiales de equipos, paros y actividades de mantenimiento efectuados.	Analizar las frecuencias de empleo de las distintas acciones de mantenimiento.	Planeamiento cargado en APIPRO 9.
4. Distinguir los indicadores de mantenimiento aplicables a la planta por medio del estudio de la documentación y los historiales de equipos, paros y actividades de mantenimiento efectuados.	Analizar la existencia de indicadores aplicables al mantenimiento de las plantas.	Documentación histórica de base de datos
4. Distinguir los indicadores de mantenimiento aplicables a la planta por medio del estudio de la documentación y los historiales de equipos, paros y actividades de mantenimiento efectuados.	Realizar el análisis comparativo de los datos recopilados con las ejecuciones del plan de mantenimiento preventivo existente.	Seguimiento de las actividades en las paradas de mantenimiento.

5. Diseñar el modelo de Gestión de mantenimiento aplicable a las plantas hidroeléctricas Torito y La Joya, apoyado en la implementación conjunta de su base de datos y el plan anual de mantenimiento programado existente.	Estructurar la nueva propuesta de modelo de gestión de mantenimiento.	Apoyo bibliográfico.
	Determinar los objetivos del departamento de mantenimiento.	Basado en la función principal del departamento.
	Establecer los indicadores de mantenimiento adecuados al plan de gestión.	Apoyo bibliográfico, indicadores mínimos necesarios.
	Coordinar las responsabilidades y las acciones de mantenimiento preventivo que se deben llevar a cabo.	Plan de Mantenimiento (APIPRO 9).
6. Determinar los requerimientos a seguir para la puesta en marcha del Modelo de Gestión de Mantenimiento.	Análisis de los datos históricos sobre costos del mantenimiento empleado	Datos de Recursos Humanos.
	Determinar los costos económicos que conlleva la implantación del plan de gestión de mantenimiento.	Tabla de salarios del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social.
	Describir las etapas a seguir para la implementación del plan de mantenimiento.	Apoyo bibliográfico del modelo de gestión.

Fuente: Elaboración propia

1.7 Alcance

El proyecto se basa en planear el modelo de gestión de mantenimiento para su aplicación en ambas plantas dejando establecidos los parámetros iniciales para implementarlo en la empresa. Se establecen los aspectos a efectuar para las tres fases iniciales y se elaboran recomendaciones sobre las adicionales y la mejora. Quedan realizados los perfeccionamientos propuestos para el programa 5 S en el área de Bodega de repuestos.

Se impacta positivamente la estructura y el desempeño organizacional de la empresa al mejorar los planes de mantenimiento existentes, que dan como resultado un mejor manejo de las prioridades y el desempeño del equipo encargado del mantenimiento, con miras a que una vez aplicado el modelo correctamente se puedan expandir las fronteras del conocimiento y la aplicación hacia métodos más especializados de mantenimiento industrial. Además, el beneficio se da no solo en el Departamento de Mantenimiento sino, también, en lo que respecta al ámbito económico con la mejora de los paros no programados y los tiempos de parada.

1.8 Cronograma del proyecto

Mod de	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
1	Reconocer las plantas hidroeléctricas Torito y La Joya	1 sem	lun 30/07/18	vie 03/08/18	
2	Iniciar con el estudio de la estructura organizacional existente.	1 sem	lun 30/07/18	vie 03/08/18	
3	Implementar la auditoría de mantenimiento.	1 sem	lun 06/08/18	vie 10/08/18	1,2
4	Implementar auditoría 5S en la bodega de la planta Torito	1 sem	lun 06/08/18	vie 10/08/18	1,2
5	Análisis de la información recopilada de la auditoría de mantenimiento.	1 sem	lun 13/08/18	vie 17/08/18	3
6	Formulación de mejoras como resultado de la auditoría 5S.	1 sem	lun 13/08/18	vie 17/08/18	4
7	Recopilar información sobre órdenes de trabajo de 18 meses atrás	1 sem	lun 13/08/18	vie 17/08/18	
8	Análisis de la información recopilada de los equipos y de las órdenes de trabajo sobre reparaciones anteriores.	2 sem.	lun 20/08/18	vie 31/08/18	7
9	Implementación de mejoras propuestas en la auditoría 5S.	5 sem.	lun 10/09/18	vie 12/10/18	6
10	Determinar mediante el estudio del historial de trabajos realizados las fallas y acciones más frecuentes	2 sem.	lun 03/09/18	vie 14/09/18	8
11	Analizar la existencia de indicadores aplicables al mantenimiento de las plantas.	1 sem	lun 10/09/18	vie 14/09/18	8
12	Analizar las frecuencias de empleo de las distintas acciones de mantenimiento.	3 sem.	lun 03/09/18	vie 21/09/18	
13	Realizar el análisis comparativo de los datos recopilados con las ejecuciones del plan de mantenimiento preventivo existente.	2 sem.	lun 03/09/18	vie 14/09/18	
14	Estructurar la nueva propuesta de modelo de gestión de mantenimiento.	2 sem.	lun 24/09/18	vie 05/10/18	12
15	Determinar los objetivos del departamento de mantenimiento.	1 sem	lun 24/09/18	vie 28/09/18	12
16	Coordinar las responsabilidades y las acciones de mantenimiento preventivo que se deben llevar a cabo.	2 sem.	lun 01/10/18	vie 12/10/18	15
17	Establecer los indicadores de mantenimiento adecuados al plan de gestión.	1 sem	lun 24/09/18	vie 28/09/18	12
18	Coordinar las responsabilidades y las acciones de mantenimiento preventivo que se deben llevar a cabo.	1 sem	lun 08/10/18	vie 12/10/18	14
19	Análisis de los datos históricos sobre costos del mantenimiento empleado	1 sem	lun 15/10/18	vie 19/10/18	18
20	Describir las etapas a seguir para la implementación del plan de mantenimiento.	1 sem	lun 15/10/18	vie 19/10/18	18
21	Determinar los costos económicos que conlleva la implantación del plan de gestión de mantenimiento.	1 sem	jue 25/10/18	mié 31/10/18	18
22	Revisión Bibliográfica	74 días	lun 30/07/18	jue 08/11/18	
23	Elaboración de documeto escrito.	74 días	lun 30/07/18	jue 08/11/18	

Figura 0.5. Programación del proyecto
Fuente: Elaboración propia

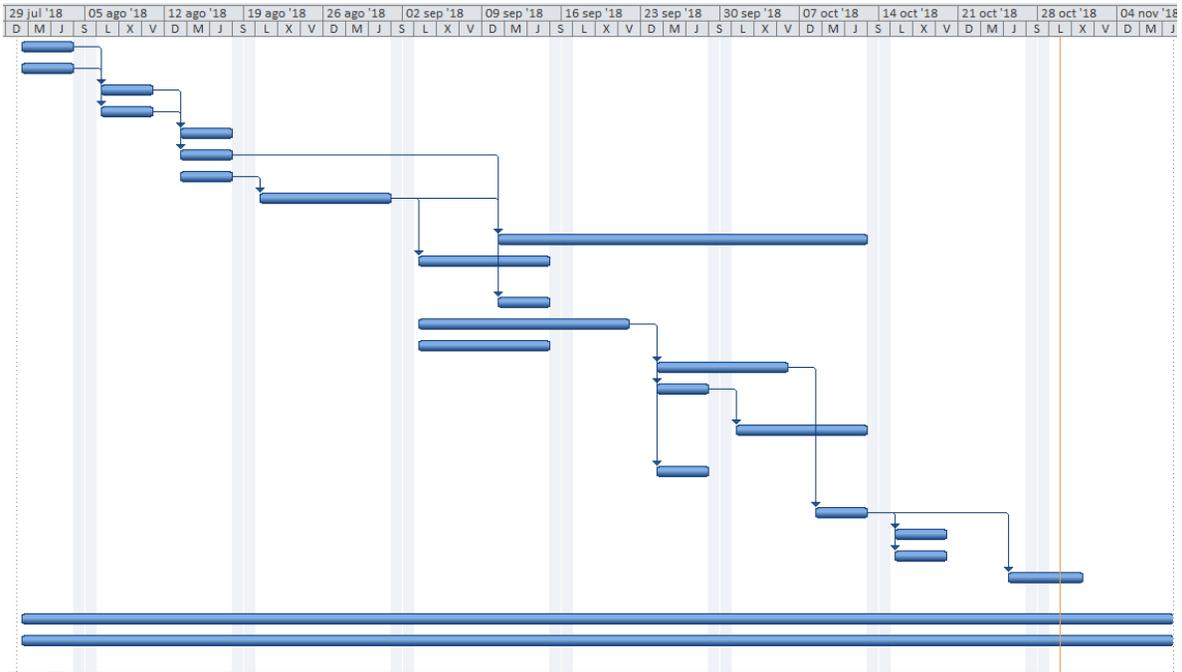


Figura 0.6. Diagrama de Gant del proyecto
Fuente: Elaboración propia

2 Marco Teórico

2.1 Mantenimiento

El mantenimiento se define, según García (2004), como “un conjunto de técnicas destinado a conservar los equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible y con el máximo rendimiento”, las cuales deben ser priorizadas con el fin de ligarlas a los objetivos de la organización. Además, las empresas deben visualizar el mantenimiento como una inversión importante para conservar la productividad y dejar de verlo solo como un gasto generado en los momentos de paro y fallas.

Uno de los aspectos más significativos dentro del mantenimiento es su gestión, ya que debe hacerse para que se convierta en una parte esencial y conjunta con las demás áreas. Debe, primero, entenderse que gestionar es el tratar de optimizar los recursos que se emplean en las actividades de mantenimiento, tanto económicos de índole humano.

García (2004), enumera cuatro razones principales por las que el mantenimiento debe ser gestionado:

- a. La obligación de rebaja de costos generada por el continuo crecimiento de la competencia.
- b. Por la aplicabilidad y estudio de las técnicas de mantenimiento que han venido evolucionando y demostrando su factibilidad.
- c. Cada departamento necesita de estrategias y directrices que le marquen su rumbo de trabajo y le tracen sus objetivos.
- d. Por la importancia que generan los aspectos de seguridad, calidad y correcta relación con el medio ambiente.

2.2 Estructura Organizacional

Por medio de la estructura organizacional se muestra el orden jerárquico que existe desde los puestos de toma de decisiones hasta los diferentes Departamentos con su respectiva conformación cada uno de ellos. La estructura depende directamente del tamaño de la organización, de la velocidad de respuesta ante una situación, del proceso productivo, de la flexibilidad del Departamento, entre otros factores; así el Departamento de Mantenimiento establece la estructura más conveniente para cumplir con los objetivos de la organización. Según Garrido (2000), "dependiendo del tamaño, de la especialización y de los criterios de los directivos y gerentes, las empresas de mantenimiento adoptan diferentes estructuras. Esta diferenciación busca cubrir las necesidades organizativas, técnicas y de gestión de la empresa".

2.2.1 Mantenimiento Centralizado

En la Figura 2.1. Mantenimiento Centralizado se observa que el Departamento de Mantenimiento tiene una relación directa con la Gerencia, ubicándose en un nivel de mando igualitario al de departamentos como Producción y Calidad, reflejando que las decisiones que se tomen desde en el anterior Departamento tengan un gran peso en el proceso productivo. Además, entre algunas de las ventajas de esta estructura, según García (2004), está la división del departamento en gremios, la planificación y la programación de tareas para toda la organización.

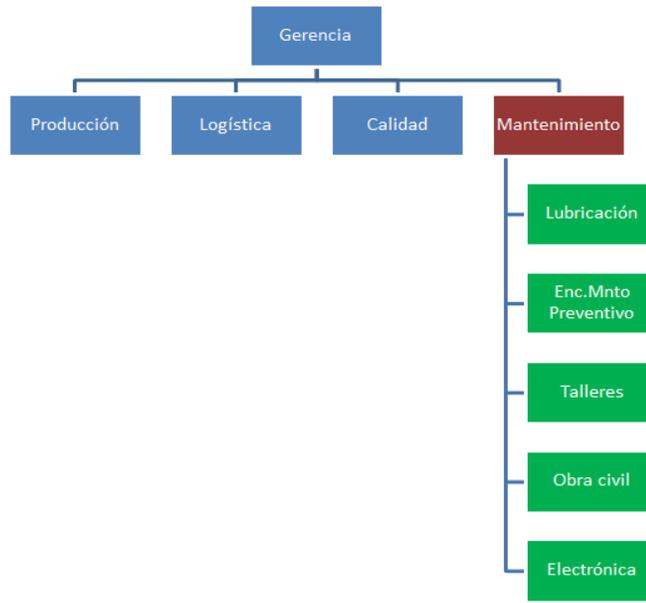


Figura 2.1. Mantenimiento Centralizado
Fuente: Piedra, C. (2015)

Asimismo, García Garrido (2004) menciona una clasificación del organigrama interno del Departamento de Mantenimiento al que llama Organigrama Básico, el cual, esencialmente, es una estructura de mantenimiento centralizada, pero con el apoyo de departamentos adicionales como Seguridad, Calidad y Medio Ambiente.

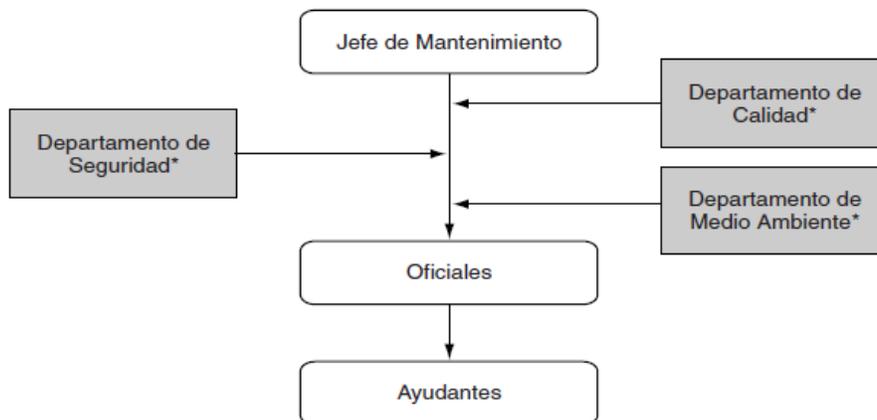


Figura 2.2. Organigrama Básico
Fuente: García, S. (2004)

2.3 Mantenimiento Preventivo

Según Elola (2009), el objetivo del mantenimiento preventivo "(...) es conocer el estado actual por sistema de todos los equipos y programar así el mantenimiento correctivo en el momento más oportuno"; por lo que esta práctica de mantenimiento permite lograr mayor disponibilidad de los equipos en el proceso productivo, mediante la disminución de los paros no programados. Aplicado correctamente colabora en reducir los costos que supone implementar como único recurso el mantenimiento correctivo, ya que una de sus prioridades es velar por la máxima disponibilidad de los equipos por lo que en el transcurso del tiempo la menor intervención es un buen indicio de efectividad.

Para implementar el mantenimiento preventivo en una organización es necesario realizar un listado y reconocimiento de los equipos más críticos, pues de estos depende la productividad; pero el plan preventivo no solamente es una herramienta que nos permite planificar las rutinas de mantenimiento, sino que también funciona como un insumo que permite priorizar las intervenciones futuras, según sea la necesidad del equipo.

2.4 Indicadores de mantenimiento

Un indicador es un hecho que mide la eficacia de un todo o una parte de un proceso o sistema con referencia a una norma, un plan o un objetivo (Gómez, 2013). Los indicadores tienen la tarea de cuantificar la información obtenida en el historial de mantenimiento por lo que se obtienen datos relevantes con respecto a los equipos que han sufrido algún tipo de intervención de mantenimiento, entre ellos la cantidad y duración; esta reseña sirve como herramienta para realizar un análisis sobre aquellos equipos que requieren una priorización de mantenimiento. Es mediante los indicadores que el plan de mantenimiento preventivo logra cuantificar y valorar los resultados de su implementación.

2.4.1 Indicadores de clase mundial

Según la norma VDI-2893, existen aproximadamente 87 indicadores, entre generales y variables, de modelación para medir diferentes departamentos y campos de acción del mantenimiento. Sin embargo, existen 3 principales, los cuales se han agrupado y catalogado como indicadores de clase mundial debido a su importancia y aplicación. Estos generan a los administradores la información necesaria para medir el estado, proceso y desarrollo del Departamento de Mantenimiento, así como la evaluación del cumplimiento de sus objetivos.

Para poder cuantificar y calcular estos indicadores correctamente existen otros de medición que están relacionados.

La medición del tiempo promedio en el que aparece una nueva falla se denomina: Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), este resulta de dividir el tiempo real de operación entre el número de fallas presentadas en un periodo de tiempo determinado.

Para la medición del tiempo promedio que se requiere para lograr reparar un equipo se emplea el Tiempo Medio de Reparación (MTTR), que resulta de dividir el tiempo total de reparación entre el número de fallas.

2.4.1.1 Disponibilidad

Se considera como el objetivo principal de mantenimiento. Es la probabilidad de que un equipo cumpla satisfactoriamente con la función para la cual fue diseñado cuando este se requiera. Se calcula con los datos de tiempo medio entre fallas (MTBF) y de tiempo medio de reparación (MTTR) mediante la siguiente fórmula:

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)} * 100$$

Ecuación 2.1.

2.4.1.2 Confiabilidad

La confiabilidad es la probabilidad de que el equipo desempeñe la función para la cual fue diseñado en un tiempo establecido. Se calcula mediante la fórmula:

$$\text{Confiabilidad} = e^{-\frac{1}{MTBF} * t} * 100$$

Ecuación 2.2.

2.4.1.3 Mantenibilidad

Esta es la expectativa de recuperación de un equipo en un periodo dado, esto mientras se encuentra en ejecución la acción de mantenimiento. Se calcula mediante la fórmula:

$$\text{Mantenibilidad} = 1 - e^{-ut}$$

Ecuación 2.3.

u: Tasa de reparaciones o número total de reparaciones efectuadas con relación al total de horas de reparación del equipo.

t: Tiempo previsto de reparación MTTR.

2.5 Auditoría de Mantenimiento: “MAINTENANCE EFFECTIVENESS SURVEY (MES)”

MES es una auditoría propuesta por el Marshall Institute, la cual consiste en una serie de 60 preguntas, divididas en 5 áreas del mantenimiento (INGEMAN, 2017). Su propósito es la identificación de los puntos débiles de la estructura en cada área del mantenimiento, lo que genera la posibilidad de corregir cada uno, según su área específica.

Se evalúan 5 áreas específicas del Departamento de Mantenimiento:

- Recursos Gerenciales
- Gerencia de la Información (Software de gestión del mantenimiento)
- Equipos y técnicas de mantenimiento preventivo
- Planificación y ejecución
- Soporte, Calidad y Motivación

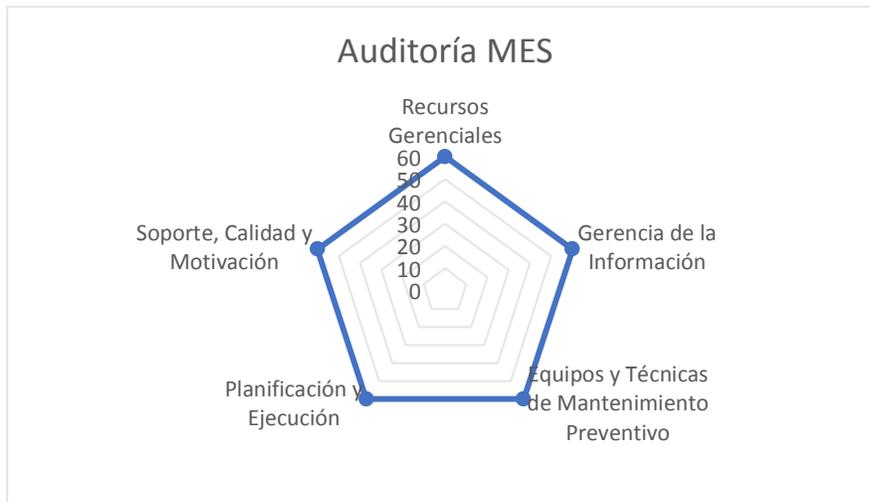


Gráfico 2.1. Presentación de resultados MES
Fuente: Elaboración propia

Para la aplicación de la auditoría se deben escoger mínimo 8 personas de las cuales debe haber personal gerencial, de mantenimiento, operarios y supervisores.

La metodología de evaluación consta de 12 preguntas por área, para un total de 60 preguntas, las cuales son evaluadas en una escala de 1 a 5, siendo 1 el más bajo y 5 la mejor calificación.

Para el análisis de resultados las puntuaciones individuales se suman y se promedian entre el número de encuestados, lo que dará como resultado la

calificación final de la auditoría, la cual se estima según la posición de los siguientes rangos:

- 300–261: Categoría “Clase Mundial”/nivel de excelencia en mantenimiento.
- 201–260: Categoría “Muy buena”/nivel de buenas prácticas en mantenimiento.
- 141–200: Categoría “Por arriba del nivel promedio”/nivel aceptable en mantenimiento.
- 81–140: Categoría “Por debajo del promedio”/nivel no muy bueno de mantenimiento, con oportunidades para mejorar.
- Menos de 80: Categoría “Muy por debajo del promedio”/nivel muy malo mantenimiento con muchas oportunidades para mejorar.

2.6 Auditoría de 5 S

El sistema 5S se conoce como uno de los pilares fundamentales para la mejora del Departamento de Mantenimiento y la implementación de un mantenimiento autónomo, además lleva consigo herramientas y filosofías que hacen más sencillo el cumplimiento de los objetivos.

La Auditoría 5 eses es una herramienta que busca consolidar un ambiente agradable y eficientemente organizado aumentando la seguridad y la confianza de los trabajadores en el proceso y en cada departamento de la organización.

Los objetivos primordiales de las 5S van desde crear un lugar de trabajo eficiente empleando correctos métodos de orden y limpieza para establecer una

estandarización en controles visuales y preparación de las acciones preventivas, todo esto mediante la capacitación del personal en sus equipos, con el fin único de lograr mejoras en la productividad de la empresa.

Para lograr la implementación del 5S se realizan los siguientes pasos, los cuales le dan su nombre al mismo:

a. Seiri (Organización)

Este es el primer paso de aplicación del 5S, con este se busca eliminar elementos que son ajenos al área de trabajo o bien que no son ineludibles para el desempeño del operador y del proceso productivo. Se busca mantener lo necesario y clasificarlo, según su uso, con el fin de optimizar el espacio útil y reducir los inventarios.

b. Seiton (Orden)

En este paso se busca organizar los elementos necesarios de manera que se reduzcan los tiempos al localizarlos, ubicándolos en lugares estratégicos y de rápida localización visual. También, con el orden se busca la liberación de espacios de trabajo y la reducción de tiempos muertos de personas ubicando elementos de trabajo.

c. Seiso (Limpieza)

La limpieza facilita las inspecciones visuales y con ello la realización del mantenimiento autónomo. Por esa razón, en esta etapa se busca, además de limpiar los equipos y las áreas de trabajo, eliminar la raíz principal de contaminación.

d. Seiketsu (Estandarización)

Este es el proceso en el que se pretende mantener lo logrado en los 3 pasos anteriores, buscando siempre aspectos de mejora. Se deben emplear métodos de

estandarización como etiquetas, colores o señales para la identificación y la diferenciación de procesos, seguridad y rutinas, esto con el fin de mantener una línea fija de actividades y rutinas que eviten volver al estado inicial de falta de orden y limpieza.

e. Shitsuke (Disciplina)

Etapa de consolidación de los objetivos alcanzados mediante la aplicación de las 4 etapas anteriores con la responsabilidad total de los departamentos involucrados. Esto se logra solamente mediante la evaluación continua y el mejoramiento de las rutinas aplicadas.



Figura 2.3. Ciclo 5 S

Fuente: <http://www.garmentsmerchandising.com/influence-of-5s-principles-on-garments-productivity/>

2.7 Análisis de Pareto

El análisis de Pareto fue desarrollado por el economista italiano Vilfredo Pareto. El descrito por Pareto dice que “el 80% de los problemas se pueden solucionar si se elimina el 20% de las causas que las originan”. Es por esta razón que se le conoce también como la Regla de 80-20.

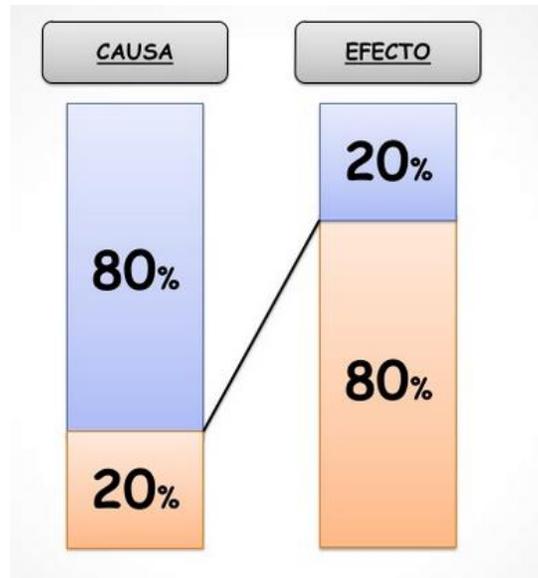


Figura 2.4. Regla 80-20

Fuente: <https://es.slideshare.net/juliiianaguirre/diagrama-de-pareto-28713035>

Según la ideología del análisis de Pareto, se afirma que en un conjunto de datos o condiciones, hay unos pocos aspectos que son responsables de la mayoría de efectos.

El diagrama de Pareto se define como una comparación cuantitativa de los datos, en este caso específico un conteo de las fallas, que intervienen en el desarrollo del proceso. El objetivo del Pareto es clasificar la comparación de los elementos en dos.

- a. **Elementos Pocos Vitales:** Son de mucho peso e importancia, influyen en la mayor parte de los acontecimientos o fallas presentadas.
- b. **Elementos Muchos Triviales:** Por lo general, son la mayor cantidad de elementos, pero reducidos en frecuencia por lo que se consideran de menor impacto en el desarrollo.

La aplicación del Pareto busca la priorización de los efectos o fallas según sea el impacto de estas en el desarrollo del proceso con que se determinan las acciones a tomar y los ámbitos que deben ser atacados con mayor fuerza.

2.7.1 Características

- a. **Priorización:** Consiste en la identificación de los elementos que más relevancia tienen dentro de un grupo de fallas presentes en un proceso.
- b. **Unificación de criterios:** Pareto unifica, enfoca y dirige el esfuerzo de los componentes de trabajo hacia un objetivo prioritario común, el cual se determina mediante la tabulación de los datos recolectados.
- c. **Carácter objetivo:** Por medio de su utilización se fuerza al grupo de trabajo a tomar decisiones basadas en datos.

2.8 Modelo de Gestión de Mantenimiento

La Gestión de Mantenimiento se define como el conjunto de actividades de gestión que determinan los objetivos, las estrategias y las responsabilidades del mantenimiento y las realizan por medio la planificación, el control y la supervisión del mismo; aplicando y mejorando los métodos de organización (Norma EN 13306). Asimismo, la mejora continua de la gestión del mantenimiento es el concepto base que le da lugar a la Ingeniería de Mantenimiento, mediante la incorporación de conocimiento, inteligencia y análisis que sirven de apoyo en las decisiones orientadas al favorecer los resultados económicos y operacionales (Crespo, A. 2012).

Un buen modelo tiene como finalidad el conseguir el alineamiento de las actividades de mantenimiento en conjunto con los tres niveles de actividad de la empresa: dirección, procesos y operación.

El proceso de gestión de mantenimiento se divide en dos partes principales, por un lado, la definición de la estrategia de mantenimiento, la cual está ligada a la definición de los objetivos y el diseño de las maniobras que se aplicarán con el fin de alinearse a los planes del negocio. Por otra parte, está la implementación de dichos planes, que tiene que ver con la habilidad de asegurar niveles de formación y preparación tanto del personal como de los activos y recursos necesarios para la correcta realización de las actividades.

El artículo *Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo*, se basa en la norma ISO 9001-2008 para establecer un diagrama de ciclo de trabajo de mantenimiento. Este distingue varios aspectos que deben ser tomados en cuenta a la hora de elaborar e implementar un modelo de gestión de mantenimiento. El diagrama presenta dos ciclos de trabajos muy representativos y necesarios para un buen modelo

a. Ciclo habitual de mantenimiento

Explica la secuencia lógica operativa de las actividades de mantenimiento como la planificación, programación y asignación de trabajos junto con su ejecución.

b. Ciclo de mejoramiento continuo

Le agrega al proceso de mantenimiento habitual el análisis de lo ya ejecutado y de implementación de tareas para aplicar mejoras.

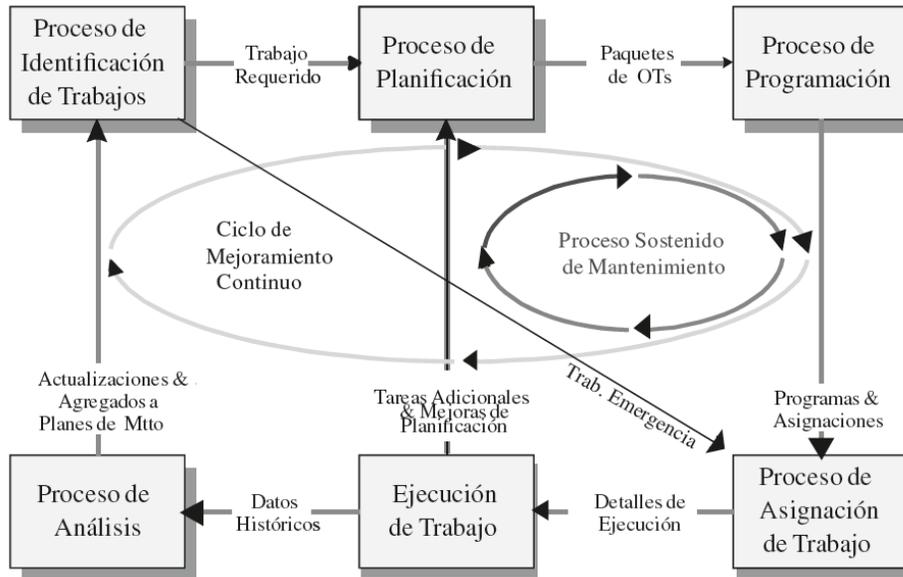


Figura 2.5. Ciclo de trabajo de Mantenimiento
 Fuente: (Viveros, Stegmaier, Kristjanpoller, Barbera, & Crespo, 2013)

Existen múltiples variantes propuestas por diferentes autores sobre modelos de gestión de mantenimiento, pero Parra & Crespo (2012) proponen un modelo de gestión compuesto por 8 etapas o bloques, los cuales se conforman como un bucle cerrado de continuo procesamiento en donde se engloban 4 aspectos básicos del modelo, la eficacia, la eficiencia, la evaluación y la mejora continua.

Para un mejor entendimiento se presenta en la Figura 2.6. Modelo del proceso de Gestión de Mantenimiento el modelo propuesto por Parra & Crespo y que enumera las 8 etapas del proceso de Gestión.

2.8.1 Fases del Modelo de Gestión

Como ya se mencionó, el modelo de gestión de mantenimiento se encuentra conformado por 8 etapas, englobadas dentro de 4 aspectos que convierten el modelo en un ciclo, el cual debe estar en constante movimiento y cambio con el fin de que sea funcional y pueda ser una herramienta útil y actualizada al servicio del Departamento de Mantenimiento.



Figura 2.6. Modelo del proceso de Gestión de Mantenimiento
Fuente: Parra & Crespo (2012)

2.8.1.1 Fase 1

Relacionada directamente con la definición de los objetivos del Departamento de Mantenimiento, los cuales es necesario que estén claros y establecidos. También, se fijan las estrategias y las responsabilidades del departamento, esto con el fin de que sean vinculantes a los objetivos. En esta fase se pueden utilizar técnicas variadas como el cuadro de mandos integral o el desarrollo de alguna auditoría de mantenimiento; ambas son herramientas de importancia a la hora de generar indicadores que se convierten en elementos claves en la evaluación del desempeño de la gestión.

2.8.1.2 Fase 2

Se utilizan técnicas para jerarquizar los equipos de producción, como bien lo establece la definición de la fase, de acuerdo con la importancia de su función dentro del proceso productivo. Es trascendental que la técnica de jerarquización sea de carácter objetivo y que se emplee de manera correcta para que al clasificar sea acorde a la criticidad real de los equipos.

2.8.1.3 Fase 3

Una vez que se han clasificado los equipos críticos, se deben conocer las causas más frecuentes de sus fallos. Por lo general, cada equipo, según sus características, posee puntos débiles o elementos que por su naturaleza o tipo de funcionamiento son propensas las faltas; es por esto que esta etapa se liga con la fase 2 para identificarlos y emplear técnicas como el análisis de causa raíz, el cual no solamente ayuda a identificar los puntos débiles, también colabora en la solución de los fallos que se pudieran presentar.

2.8.1.4 Fase 4

La cuarta fase es la de diseño de los planes de mantenimiento preventivo, como todo es un ciclo, después de identificar equipos y puntos críticos, se deben diseñar los planes. La teoría (Parra & Crespo, 2012) recomienda la utilización de herramientas como el RCM o afines para elaborar planes basados en la confiabilidad y funcionalidad de los equipos y que, además, representen actividades que generen un valor agregado a la implementación del mantenimiento.

2.8.1.5 Fase 5

Fase de programación del mantenimiento preventivo, en la fase 4 se elaboró el plan preventivo en cuanto a actividades a realizar en cada equipo, en la fase 5 se debe planificar su programación y correcta implementación. Asimismo, se utilizan

técnicas como: evaluar los indicadores para relacionar la planificación con la programación y valorar el impacto del planeamiento preventivo.

2.8.1.6 Fase 6

Evaluación y control de la ejecución del mantenimiento, una vez elaborados y programados los planes, debe ser controlada su correcta ejecución y puesta en marcha con el fin de que las actividades no se desvíen de los objetivos inicialmente planteados por el Departamento de Mantenimiento, y mucho menos que estos se vayan a desviar de los objetivos generales de la empresa.

2.8.1.7 Fase 7

El análisis del ciclo de vida de los equipos permite realizar una valoración de qué tan importante es el mantenimiento aplicado a este. También, se realiza un análisis del costo beneficio de realizarle mantenimiento a equipos que ya poseen un cierto periodo (podría decirse extenso) de trabajo y la factibilidad de su posible remplazo.

2.8.1.8 Fase 8

La implantación del proceso de mejora continua se puede considerar como una de las más críticas del plan de gestión, ya que es en este punto donde un plan de gestión sigue su ciclo de vida o de lo contrario se estanca. Es importante para esto, más que implementar técnicas, autoevaluarse como departamento; además de aplicar las recomendaciones que se generan en el transcurso de cada etapa del ciclo. Para con ello poder darle seguimiento al bucle o ciclo de mejora continuo que es el plan de gestión de mantenimiento.

La Figura 2.7. Modelo de Gestión de Mantenimiento muestra la estructura del modelo según Crespo, en una variación de 7 etapas tomando el mejoramiento continuo como una acción implícita y no como una etapa.

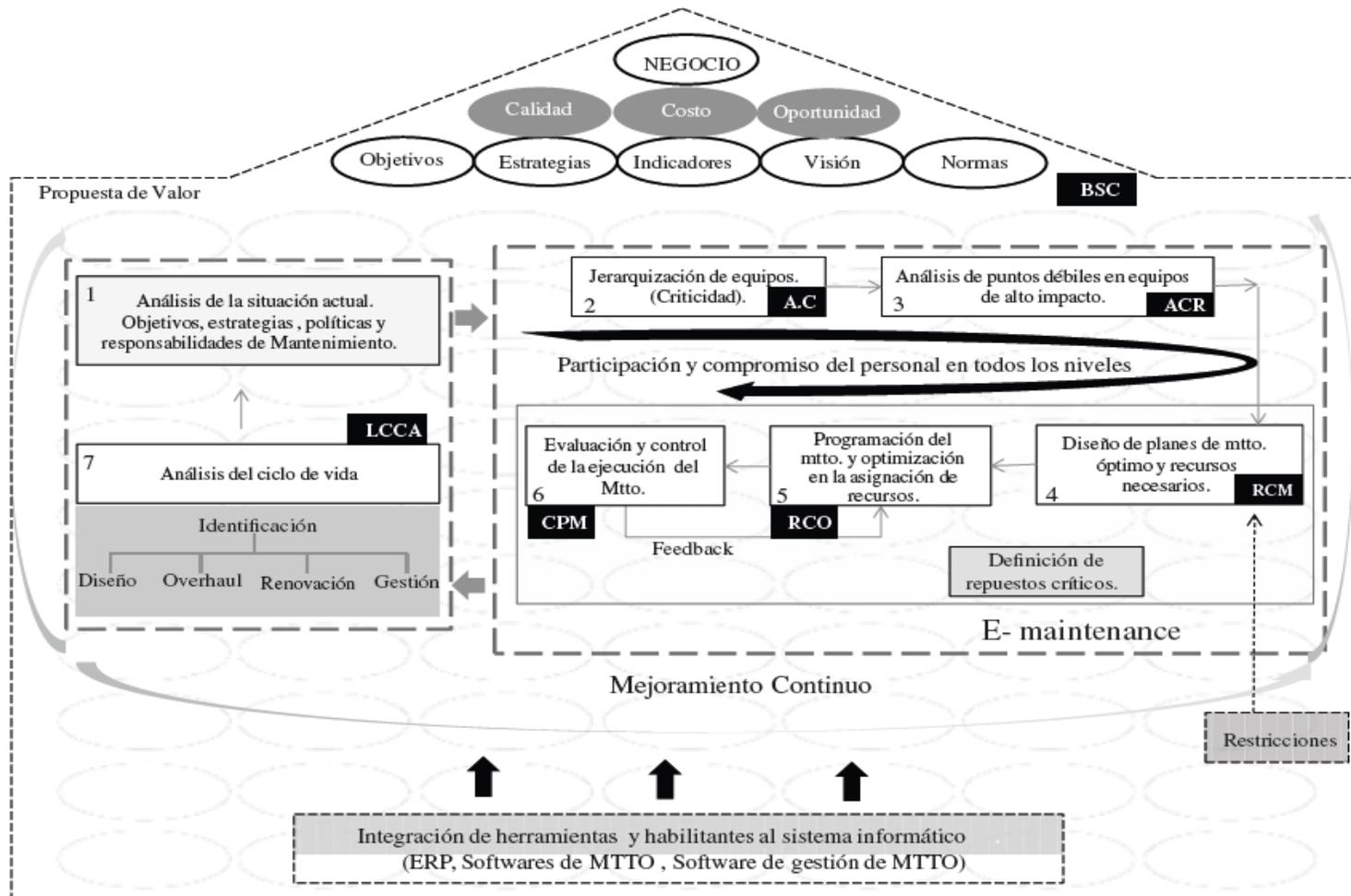


Figura 2.7. Modelo de Gestión de Mantenimiento
 Fuente: (Viveros, Stegmaier, Kristjanpoller, Barbera, & Crespo, 2013)

Integra Markets (2018), enumera las razones por las cuales es beneficioso gestionar la planificación del mantenimiento:

- c. Reducción de costos generados por la parada de los equipos necesarios para la producción.
- d. Optimización del inventario de repuestos disponibles en el stock, sin sufrir sobrecostos por excesos ni carencias por falta de productos necesarios.
- e. Brindar seguridad al personal en general en el desarrollo diario de sus actividades.
- f. Rebajas en los costos de producción, a fin de ser más competitivos en el mercado.
- g. Para evitar el desperdicio de recursos como energía, mano de obra y materia prima.
- h. Optimización del consumo de recursos y presupuesto asignado al Departamento de Mantenimiento.
- i. Optimizar la utilización de la maquinaria y los equipos, prolongando su vida útil.
- j. Cumplir con los estándares de calidad exigidos por los consumidores y organismos reguladores.
- k. Garantizar el cuidado del medio ambiente en el desarrollo de las actividades productivas.
- l. Mantener total control y supervisión sobre las actividades de mantenimiento que ejecuta el Departamento.

2.9 Análisis de Criticidad

El análisis de criticidad es un conjunto de metodologías que permite definir la jerarquía o nivel de prioridad de un proceso, sistema o equipo, según el parámetro de valor conocido como “Criticidad” que es proporcional al “Riesgo” (Viveros, Stegmaier, Kristjanpoller, Barbera, & Crespo, 2013).

Para elaborar la matriz de criticidad se relacionan los aspectos de frecuencia de ocurrencia de una falla contra la consecuencia de que la falla ocurra, el resultado se evalúa mediante una ponderación cuantificada de factores que se definen según la necesidad de la empresa.



Figura 2.8. Matriz de Criticidad
Fuente: Romero (2013).

La Figura 2.8. Matriz de Criticidad muestra la forma de elaboración de la matriz, junto con la codificación de colores que permite la identificar la intensidad del “Riesgo” relacionado con el valor de criticidad del sistema analizado.

En el eje vertical se muestra desde 1 a 5 la escala de frecuencia de ocurrencia de las fallas, mientras que en el horizontal las consecuencias en las que incurrirán los sistemas.

3 Situación Actual

3.1 Estructura organizacional de GPG Costa Rica

GPG Costa Rica posee una única estructura organizacional que aplica para las plantas de La Joya y Torito, ya que su base de operaciones se encuentra en la planta Torito, mientras que en La Joya solamente se ubican operadores de vigilancia y se maneja de forma automatizada. El tipo de estructura viene siendo lo que Zambrano (2013) llama estructura en cascada, la cual se basa en pequeños grupos que se enlazan hacia uno principal centralizado; posee la particularidad de que dentro de la estructura del mantenimiento se encuentra anexa la estructura de operación de las plantas.

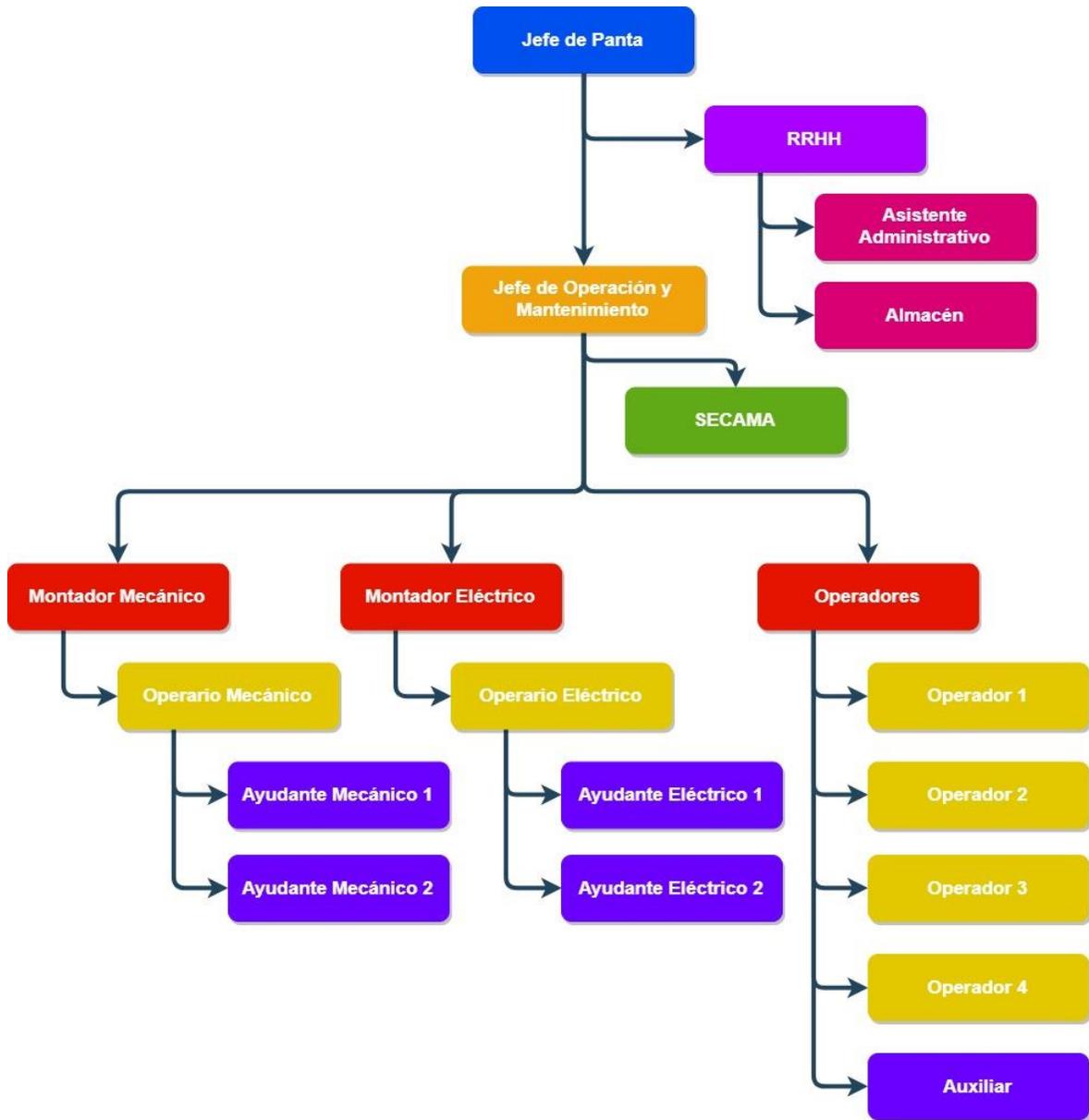


Figura 3.1. Estructura Organizacional de GPG Costa Rica
Fuente: Elaboración propia

3.1.1 Desglose del organigrama

- a. **Jefe de Planta:** Es la persona a cargo de todo el personal en general y del funcionamiento de ambas plantas. En este caso particular, es enviado desde la matriz de la empresa en España.
- b. **RRHH:** Encargado de la parte administrativa del personal, gastos, compras y pagos en general.
- c. **Asistente Administrativo:** Colabora con Recursos Humanos en el manejo de la parte financiero-contable.
- d. **Almacén:** se encarga de inventarios, entradas y salidas de repuesto e insumos de las 3 bodegas de ambas plantas.
- e. **Jefe de Operación y Mantenimiento:** Encargado del control de operadores y puesta en marcha de los planes de mantenimiento.
- f. **SECAMA:** Es una dependencia directa del mantenimiento, dedicada exclusivamente a las labores de control y puesta en práctica de los planes y procedimientos de seguridad, tanto en operación como en mantenimiento.
- g. **Operadores:** Son los operadores de las plantas generadoras, encargados de la parte de producción de los generadores.
- h. **Mantenimiento Mecánico:** Integrado por un montador mecánico, un operario mecánico y sus 2 ayudantes; están a cargo de todo lo contemplado en la parte mecánica de la planta.

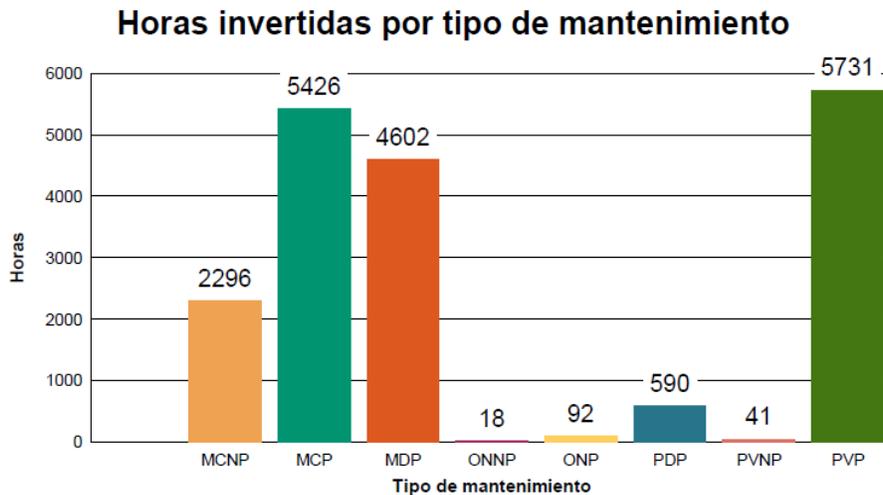
- i. **Mantenimiento Eléctrico:** También se conforma de 4 personas: montador, eléctrico, operario y sus 2 ayudantes, quienes se encargan de la parte eléctrica, tanto de baja como de alta tensión.

3.2 Estado del mantenimiento

El Departamento Operación y Mantenimiento programa las actividades de mantenimiento a realizar en cada una de las plantas, que se maneja como un listado de actividades que se carga en el software de trabajo APIPRO 9. Incluye actividades de índole correctiva, preventiva y predictiva, así como revisiones e inspecciones de los sistemas y las unidades de trabajo.

Por lo general, cada planta tiene su lista de actividades que cuenta con un orden y periodicidad establecida, ya sea mensual, trimestral, semestral o anual. El programa de actividades está cargado a modo de órdenes de trabajo en APIPRO 9, pero es necesario realizar una planificación temporal por parte de cada departamento con el fin de establecer un orden estructurado de realización de tareas y obligaciones por el personal de Mantenimiento.

El Gráfico 3.1. Mantenimiento por presenta las horas invertidas en todos los tipos de mantenimiento realizados en las plantas de Torito y La Joya, en un periodo de 18 meses, el cual abarca desde el 01 de enero del año 2017 hasta el 30 de junio del año 2018.



MCNP: Mantenimiento Correctivo no Programado
MCP: Mantenimiento Correctivo Programado
MDP: Modificaciones Programadas
ONNP: Obra Nueva no Programada
ONP: Obra Nueva Programada
PDP: Predictivo Programado
PVNP: Preventivo no Programado
PVP: Preventivo Programado

Gráfico 3.1. Mantenimiento por horas
Fuente: Informe de seguimiento de OT's (APIPRO 9)

Con el estudio del gráfico se revela el estado real del mantenimiento de la empresa, ya que se puede observar que se dedicaron 5772 horas de trabajo al mantenimiento preventivo (PVP). Esta área, como ya se mencionó, se encuentra planificada con anterioridad y cargada en el software APIPRO 9, pero el dato más relevante lo muestran las horas dedicadas al aspecto correctivo, sumando un total de 12 324 horas, correspondientes a los datos de correctivo programado (MCP), correctivo no programado (MCNP) y el modificado (MDP), este último es una clasificación que se le da a los correctivos cuando sufren alguna modificación en su forma inicial de OT.

Mediante el estudio de los datos de horas laboradas, se puede concluir que la empresa está invirtiendo más del doble en recurso humano (tiempo laboral), en la atención de mantenimientos correctivos, con respecto al invertido en las

actividades preventivas. Entonces, es necesario que se invierta más tiempo en la revisión y autoevaluación de los planes de mantenimiento en busca de la disminución de aplicación de correctivos por medio del tipo preventivo planificado.

Mediante las tablas de costos de mantenimiento se visualiza el desglose de las horas y su valor económico asociado para el mantenimiento correctivo y preventivo llevado a cabo desde el 1 de enero de 2017 y hasta el 30 de junio de 2018.

La siguiente **Tabla 3.1.** Costo del Preventivo desglosa el costo de las horas invertidas por cada colaborador de la empresa en actividades de mantenimiento preventivo.

Tabla 3.1. Costo del Preventivo (Desde 01/01/2017 hasta 30/06/2018)

Mantenimiento Preventivo			
Colaborador	Horas	Costo por hora	Costo
A. Eléctrico 1	493	3039.38	₡1 498 414.34
Jefe O&M	2	10505.18	₡21 010.36
Operador 1	13	2502.54	₡32 533.02
Operador 2	256	2502.54	₡640 650.24
M. Eléctrico	395	6078.76	₡2 401 110.20
M. Mecánico	419	7003.45	₡2 934 445.55
A. Operador 1	177	2332.12	₡412 785.24
A. Mecánico 1	0	3501.73	₡0.00
A. Mecánico 2	560	3501.73	₡1 960 968.80
Operador 3	98	2502.54	₡245 248.92
Operador 4	17	2502.54	₡42 543.18
A. Operador 2	20	2332.12	₡46 642.40
A. Mecánico 3	483	3501.73	₡1 691 335.59
A. Operador 3	50	2332.12	₡116 606.00
A. Mecánico 4	442	3501.73	₡1 547 764.66
A. Eléctrico 2	639	3039.38	₡1 942 163.82
Mecánicos	45	3501.73	₡157 577.85
Eléctricos	50	3039.38	₡151 969.00
Contratista	1613	4040.45	₡6 517 245.85
Total	5772	Total	₡22 361 015.02

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 3.2.** Costo del Correctivo se refleja lo que ya se mencionó con el Gráfico 3.1. Mantenimiento por , que el mantenimiento correctivo está resultando en una inversión de horas y costos económicos que asciende a más del doble de lo que se invierte en preventivo.

Tabla 3.2. Costo del Correctivo (Desde 01/01/2017 hasta 30/06/2018)

Mantenimiento Correctivo			
Colaborador	Horas	Costo por hora	Costo
A. Eléctrico 1	782	3039.38	€2 376 795.16
Jefe O& M	15	10505.18	€157 577.70
Operador 1	14	2502.54	€35 035.56
Operador 2	219	2502.54	€548 056.26
M. Eléctrico	487	6078.76	€2 960 356.12
M. Mecánico	836	7003.45	€5 854 884.20
A. Operador 1	1	2332.12	€2 332.12
A. Mecánico 1	306	3501.73	€1 071 529.38
A. Mecánico 2	1505	3501.73	€5 270 103.65
Operador 3	124	2502.54	€310 314.96
Operador 4	8	2502.54	€20 020.32
A. Operador 2	167	2332.12	€389 464.04
A. Mecánico 3	1417	3501.73	€4 961 951.41
A. Operador 3	47	2332.12	€109 609.64
A. Mecánico 4	1594	3501.73	€5 581 757.62
A. Eléctrico 2	955	3039.38	€2 902 607.90
Mecánicos	401	3501.73	€1 404 193.73
Eléctricos	260	3039.38	€790 238.80
Contratista	3186	4040.45	€12 872 873.70
Total	12324	Total	€47 619 702.27

Fuente: Elaboración propia

Lo anterior se realiza sin tomar en cuenta los costos adicionales por concepto de repuestos, ya que no se lleva un control de cuáles se invierten en preventivo y cuáles en correctivo, pero dado el tipo de equipos estos pueden ascender a varios miles de dólares en algunos casos.

3.2.1 Aplicación del Preventivo

El mantenimiento preventivo se basa en la aplicación de acciones ordinariamente de inspección mecánica, eléctrica y de instrumentación y control por lo general programadas con anterioridad y cargadas anualmente al programa de APIPRO para su seguimiento, aplicación y control. Ya existen tareas establecidas con periodicidad de mes, semestre o año, pero existen un conjunto de tareas, que habitualmente implican parada y declaratoria de indisponibilidad de unidades o de planta y que deben ser coordinadas con el ICE según su disposición por lo que no siempre se logran efectuar en las fechas definidas.

Las siguientes figuras muestran un extracto del Project utilizado para el planeamiento del mantenimiento preventivo de las unidades 1 y 2 de la planta La Joya realizado entre los días 18 y 31 de agosto de 2018. Estas actividades, en su mayoría, de índole preventiva conllevaban inspecciones, pruebas mecánicas, limpieza, pruebas eléctricas y verificación de instrumentación y control.

Id	Modo de	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
1		JOY-857070 INSPECCIÓN MECÁNICA VÁLVULA DE GUARDIA 1	3 horas	sáb 18/08/18	sáb 18/08/18
2		JOY-857072 INSPECCIÓN MECÁNICA DEL DISTRIBUIDOR 1	4 horas	sáb 18/08/18	sáb 18/08/18
3		JOY-857077 INSPECCIÓN MECÁNICA ENFR. ESTATOR DEL CIRC. CERRADO DE RE	1 hora	vie 17/08/18	vie 17/08/18
4		JOY-857078 INSPECCIÓN VALVULERÍA Y TUBERÍAS DE LA RED DE REFRIGERACIÓ	1 hora	vie 17/08/18	vie 17/08/18
5		JOY-857079 INSPECCIÓN MECÁNICA GRUPO INYECCIÓN ACEITE ALTA PRESIÓN	1 hora	vie 17/08/18	vie 17/08/18
6		JOY-857080 INSPECCIÓN MECÁNICA COJINETE EMPUJE Y GUÍA SUPERIOR ALTE	5 horas	dom 19/08/18	dom 19/08/18
7		JOY-857085 INSPECCIÓN MECÁNICA SISTEMA DE FRENADO ALTERNADOR 1	3 horas	lun 20/08/18	lun 20/08/18
8		JOY-857088 INSPECCIÓN MECÁNICA COJINETE GUÍA INFERIOR ALTERNADOR 1	4 horas	lun 20/08/18	lun 20/08/18
9		JOY-857089 INSPECCIÓN MECÁNICA ALTERNADOR 1	2 horas	dom 19/08/18	dom 19/08/18
10		JOY-857184 INSPECCIÓN MECÁNICA CÁMARA ESPIRAL Y ANTEDISTRIBUIDOR 1	5 horas	sáb 18/08/18	sáb 18/08/18
11		INSPECCIÓN MECÁNICA GRUPO OLEOHIDRÁULICO 2	4 horas	dom 19/08/18	dom 19/08/18
12		INSPECCIÓN MECÁNICA COJINETE TURBINA 1	8 horas	sáb 18/08/18	sáb 18/08/18
13		JOY-857183 INSPECCIÓN MECÁNICA TURBINA 1	32 horas	lun 20/08/18	jue 23/08/18
14					
15		JOY-857207 INSPECCIÓN I&C SISTEMA DETECCIÓN Y EXTINCIÓN INCENDIOS TR	1 hora	sáb 18/08/18	sáb 18/08/18
16		JOY-857117 INSPECCIÓN I&C SISTEMA DE FRENADO ALTERNADOR 1	1 hora	lun 20/08/18	lun 20/08/18
17		JOY-857118 INSPECCIÓN ELÉCTRICA TRANSFORMADOR PRINCIPAL 1	10 horas	sáb 18/08/18	dom 19/08/18
18		JOY-857119 INSPECCIÓN I&C CUADRO AGRUPAMIENTO TURBINA / CUADRO C	1 hora	lun 20/08/18	lun 20/08/18
19		JOY-857120 INSPECCIÓN I&C GRUPO INYECCIÓN ACEITE ALTA PRESIÓN 1	2 horas	mar 21/08/18	mar 21/08/18
20		JOY-857121 INSPECCIÓN ELÉCTRICA CELDA NEUTRO 1	3 horas	mar 21/08/18	mar 21/08/18
21		JOY-857122 INSPECCIÓN ELÉCTRICA CUADRO DISTRIBUCIÓN Y CCM 480V 1	3 horas	mié 22/08/18	mié 22/08/18

Figura 3.2. Hoja 1 plan preventivo La Joya
Fuente: Planeamiento anual La Joya (APIPRO 9)

Id	Modo de	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
22		JOY-857123 INSPECCIÓN ELÉCTRICA TRANSFORMADOR SSAA (630kVA	4 horas	jue 23/08/18	jue 23/08/18
23		JOY-857124 INSPECCIÓN I&C TRANSFORMADOR SSAA (630kVA	1 hora	jue 23/08/18	jue 23/08/18
24		JOY-857125 INSPECCIÓN I&C SISTEMA DE REFRIGERACIÓN. CIRCUITO PRIMARI	2 horas	jue 23/08/18	jue 23/08/18
25		JOY-857126 INSPECCIÓN ELÉCTRICA DEL ARMARIO DE EXCITACIÓN 1	2 horas	mar 21/08/18	mar 21/08/18
26		JOY-857127 INSPECCIÓN I&C CUADRO AUTÓMATA / CUADRO PROTECCIÓN / C	2 horas	jue 23/08/18	jue 23/08/18
27		JOY-857128 INSPECCIÓN I&C CAJA CONEX. VÁLV. GUARDIA H22 Y CAJA CONEX.	1 hora	vie 24/08/18	vie 24/08/18
28		JOY-857129 INSPECCIÓN I&C TURBINA 1	5 horas	vie 24/08/18	vie 24/08/18
29		JOY-857130 INSPECCIÓN ELÉCTRICA TRANSFORMADOR EXCITACIÓN GRUPO 1 (3 horas	mié 22/08/18	mié 22/08/18
30		JOY-857131 INSPECCIÓN ELÉCTRICA CELDAS MEDIA TENSIÓN GRUPO 1 (SAL TP	15 horas	sáb 18/08/18	lun 20/08/18
31		JOY-857132 INSPECCIÓN I&C CÁMARA ESPIRAL Y ANTEDISTRIBUIDOR 1	1 hora	mié 22/08/18	mié 22/08/18
32		JOY-857138 INSPECCIÓN I&C SISTEMA REFRIGERACIÓN JUNTAS DEL EJE GRUPO	2 horas	dom 19/08/18	dom 19/08/18
33		JOY-857139 INSPECCIÓN I&C COJINETE TURBINA 1	3 horas	dom 19/08/18	dom 19/08/18
34		JOY-857140 INSPECCIÓN I&C GRUPO OLEOHIDRÁULICO 1	2 horas	mié 22/08/18	mié 22/08/18
35		JOY-857141 INSPECCIÓN I&C TRANSFORMADOR PRINCIPAL 1	2 horas	sáb 18/08/18	sáb 18/08/18
36		JOY-857142 INSPECCIÓN I&C COJINETE EMPUJE Y GUÍA SUPERIOR ALTERNADO	1 hora	mar 21/08/18	mar 21/08/18
37		JOY-857143 INSPECCIÓN I&C COJINETE GUÍA INFERIOR ALTERNADOR 1	1 hora	mar 21/08/18	mar 21/08/18
38		JOY-857148 INSPECCIÓN I&C VÁLVULA DE GUARDIA 1	1 hora	mar 21/08/18	mar 21/08/18
39		JOY-857149 INSPECCIÓN I&C DEL DISTRIBUIDOR 1	10 horas	mar 21/08/18	mié 22/08/18
40		JOY-857150 INSPECCIÓN ELÉCTRICA GRUPO OLEOHIDRÁULICO 1	3 horas	mié 22/08/18	mié 22/08/18
41		JOY-857151 INSPECCIÓN I&C REGULADOR DE TENSIÓN 1	2 horas	mar 21/08/18	mar 21/08/18
42		JOY-857152 INSPECCIÓN ELÉCTRICA INTERRUPTOR GRUPO 1 (52G1)	3 horas	mar 21/08/18	mar 21/08/18

Figura 3.3. Hoja 2 plan preventivo La Joya
Fuente: Planeamiento anual La Joya (APIPRO 9)

Id	Modo de	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
43		JOY-857153 MEDIDA DE CORRIENTE DE FUGA ALTERNADOR 1			
44		JOY-857154 INSPECCIÓN ELÉCTRICA ALTERNADOR 1	10 horas	sáb 18/08/18	lun 20/08/18
45		JOY-857155 INSPECCIÓN ELÉCTRICA GRUPO INYECCIÓN ACEITE ALTA PRESIÓN	2 horas	mar 21/08/18	mar 21/08/18
46		JOY-857205 INSPECCIÓN I&C SISTEMA CONTRA INCENDIOS CO2 ALTERNADOR	3 horas	vie 24/08/18	vie 24/08/18
47		JOY-857422 INSPECCIÓN I&C ALTERNADOR 1	1 hora	sáb 18/08/18	sáb 18/08/18
48		JOY-857653 INSPECCIÓN I&C REGULADOR DE TENSIÓN 1	1 hora	dom 26/08/18	dom 26/08/18

Figura 3.4. Hoja 3 plan preventivo La Joya
Fuente: Planeamiento anual La Joya (APIPRO 9)

El planeamiento presentado en las figuras anteriores corresponde a la lista de actividades a realizar en la unidad 1, se aplicó de igual forma la misma lista de acciones para la unidad 2 finalizando ambas unidades el día 31 de agosto.

3.2.2 Software APIPRO 9

APIPRO 9 es un software especializado para mantenimiento industrial diseñado por OPTIWARE que permite la carga de actividades programadas de mantenimiento, así como la generación, aprobación y cierre de órdenes de trabajo. Además, posee funciones de manejo de activos, repuestos, control de horarios y costos que aún no se implementan por completo dentro del manejo que la da la empresa.



Figura 3.5. Interfaz APIPRO 9
Fuente: APIPRO 9

3.2.3 Orden de trabajo

Las órdenes de trabajo para las plantas de GPG se generan mediante el programa de APIPRO a través de la herramienta Generador de órdenes de trabajo (Ver Figura 3.6. Generador de OT. Por lo general, los pedidos programados con anterioridad o que poseen alguna periodicidad están cargadas en el sistema, como se aprecia en la Figura 3.7. Órdenes de trabajo planificadas por lo que se aprueban y se imprimen a la hora de solicitar la actividad, mientras que también existe la opción de generar nuevas órdenes, ya sea para labores de inspección o correctivos.

Dentro de la problemática vivida por la empresa en relación con las OT's, es que los colaboradores no reportan los datos y los cierres de las órdenes en tiempo real, provocando demoras y estancamiento de órdenes sin cierre realizado.

Orden de trabajo

Archivo Editar Navegar Opciones Ayuda

Principal Descripción Estado Costos Servicio Planificac.

Sitio: TORITO

Civ Orden Trabajo: TOR00687 Relacionado a OT:

Clave posición: TOR CENTRAL HIDROELECTRICA TORITO

Clave OM: 000 COMUNES

Civ Instrucción: TBOM14 Lista OM INSPECCIÓN 6M ESTRUCTURAS

Intervalo: 6 Mes Intervalo fijo

Fecha inicio planificada: 23/07/2018 Fecha final planificada: 23/07/2018

Código trabajo: Expansión Tiempo parada planeado: 0.00

Estado trabajo: FIN Técnicamente finalizado Equipo detenido requerido

Tipo tarea: MP - Trabajos MP Descargo requerido

Pedido por: SUPERVISOR Categoría: MEC

Responsable: ecanales Tipo Mantenimiento: PVP

Nro de tarea: 13 133 Tipo cost deudor:

Clave portador de costo:

Clave de ronda:

Tajet OT M.Obra Plan Repujs Plan Instrucc. Regis.trab. Bitácora Hist.tarea Sub OT

Dialog.Crea Hist.Inspec Inspección Calibración Notificación Compra Permiso

Enter data or press ESC to end.

Figura 3.6. Generador de OT
Fuente: APIPRO 9

Orden de trabajo Apuntes y toma

Archivo Opciones Ayuda

Salir Seleccionar Filtro... Ordenar Vista... Refrescar

Filtro rápido en * <Ingrese valor del filtro aquí * | OK | Limpiar | Carga

Civ Orden Trabajo	Fecha inicio planificada	Fecha final planificada	Clave OM	Desc. Corta	Sitio	Tipo	Responsable	Clave cliente	#OT cliente
TOR00949	13/08/2018	14/08/2018	000	Revisión señal de potencia	TORITO	MCN	cobando		
TOR00947	10/08/2018	11/08/2018	10BBA01	Revisión de interruptor de	TORITO	MCN	cobando		
TOR00936	19/07/2018	20/07/2018	00LQC	Reparación de tubería y bc	TORITO	MCN	ecanales		
TOR00935	19/07/2018	20/07/2018	00JME10CT004	Reparación del portón de e	TORITO	MCN	ecanales		
TOR00933	15/07/2018	25/07/2018	20MKA	Remover torreta, limpieza	TORITO	MCN	ecanales		
TOR00932	15/07/2018	25/07/2018	20MKA	Inspección y limpieza de bc	TORITO	MCN	cobando		
TOR00931	14/07/2018	24/07/2018	000	Limpieza y rehabilitación de	TORITO	MCN	ecanales		
TOR00927	13/07/2018	14/07/2018	20MEX 10AP001	Revisión bomba #1 Grupo	TORITO	MCN	cobando		
TOR00924	11/07/2018	12/07/2018	00QEA	Eliminar condensación de b	TORITO	MCN	ecanales		
TOR00910	05/07/2018	06/07/2018	00LNB33	Cuadro de control de Polip	TORITO	MCN	cobando		
TOR00894	26/06/2018	27/06/2018	10MEA20AA984	Reparación fuga en servor	TORITO	MCN	ecanales		
TOR00893	26/06/2018	27/06/2018	00LND 11AB001	Reparación de fuga de acet	TORITO	MCN	ecanales		
TOR00867	05/06/2018	06/06/2018	20BAC0 1GS001	Reparación sistema de ext	TORITO	MCN	cobando		

Mano d Obra Repuesto e-mail Notificación Permiso

Selección un Registro

Figura 3.7. Órdenes de trabajo planificadas
Fuente: APIPRO 9

En la Figura 3.8. Orden de Trabajo se detalla la orden de trabajo que se emite para la realización de las actividades de mantenimiento dentro de las plantas de GPG Costa Rica. Cada una cuenta con campos de formato general tales como la planta, la ubicación y la descripción general del procedimiento. Además, cada procedimiento cuenta con una codificación que se genera, según el sistema KKS por lo que se clasifica cada uno de los sistemas de la planta y subdividiéndolos por sus componentes principales. Dentro de la información principal de la orden de trabajo se define el tipo de intervención a realizar: correctivo, preventivo o programado.

Se agregan datos como fecha, responsable de la acción, condición del equipo para poder ser intervenido, así como el departamento al que compete la realización de la acción y si debe o no realizarse un descargo.

IDENTIFICACIÓN DE EQUIPO						
Planta:	LAJOYA	Posición:				
KKS:	D1GTU001TC	Objeto:	Turbina Francis de eje vertical			
INFORMACIÓN ORDEN DE TRABAJO						
Descripción trabajo:	INSPECCIÓN MECÁNICA DEL DISTRIBUIDOR 1					
Boletín:	JDIT03	INSPECCIÓN MECÁNICA DEL DISTRIBUIDOR				
Solicitado por:	SISTEMA	Fecha solicitud:	25/05/2017			
Tipo mto:	MANTENIMIENTO PREVENTIVO PROGRAMADO					
Departamento:	MECÁNICO	Responsable:	Ever Canales Campos			
PROGRAMACIÓN						
Fecha Inicio plan.:	08/05/2018	Fecha final plan.:	18/05/2018			
N° plan. hombres:	Tiempo plan.:					
CONDICIONES DEL EQUIPO						
Condición operación:	Detenido	Descargo Requerido:	SI <input type="checkbox"/>			
		N° Permiso de trabajo:	<input type="text"/>			
REGISTRO DE MANO DE OBRA:						
Nombre	Fecha/Tiempo	Fecha/Tiempo	Fecha/Tiempo	Fecha/Tiempo	Fecha/Tiempo	Fecha/Tiempo
Realizado según GAMA: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Requiere seguimiento: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>						
REPORTE						
APROBACION OT						
Ejecutor Orden de Trabajo:		Responsable Orden de Trabajo:		Jefe O&M:		
Fecha		Fecha		Fecha		

Figura 3.8. Orden de Trabajo
Fuente: Bases de datos de GPG Costa Rica

3.2.4 Codificación

La codificación de los sistemas de ambas plantas se realiza de manera independiente, cada una posee un sistema particular. La planta La Joya posee un árbol de activos mediante el que se han codificado cada uno de los objetos de mantenimiento subdivididos en sistemas según su correlación con el elemento principal del que dependen. En el Anexo 6. Codificación La Joya se muestra el desglose de cómo se encuentra codificado cada objeto de mantenimiento.

Para la planta Torito se aplica un sistema más resumido y que unifica aún más los elementos, se usa el sistema KKS, el cual proviene de una norma alemana de codificación. La Figura 3.9. Codificación KKS de Máquina principal muestra un extracto de la codificación utilizada, mientras que en el Anexo 4. se amplía para toda la planta.



Figura 3.9. Codificación KKS de Máquina principal
 Fuente: Base de datos GPG Costa Rica.

3.3 Indicadores de mantenimiento

GPG Costa Rica, al ser una empresa de Gas Natural Fenosa, debe apegarse a los criterios y lineamientos establecidos por la empresa madre, la cual solicita una serie de antecedentes e indicadores dentro de los informes de mantenimiento requeridos anualmente.

Los indicadores utilizados se limitan a las solicitudes hechas desde la matriz en España, básicamente lo requerido para la generación de informes anuales de mantenimiento. Estos informes son utilizados para la evaluación y auditoria por parte de la empresa madre.

3.3.1 Cantidad de Ordenes de Trabajo

Uno de los indicadores solicitados a la empresa es el de la cantidad de OT's realizadas en un periodo determinado de tiempo; esta cantidad hace referencia a la totalidad de OT's tramitadas, en proceso y cerradas, así como a las órdenes de índole preventivo y correctivo.

Tabla 3.3. Indicadores de Ordenes de Trabajo 1

Asset Integrity 2018 COSTA RICA	Current Quarter ultimos 12 meses (1 de Abril 2017 hasta 31 de Marzo de 2018)	Previous Quarter ultimos 12 meses (1 de Enero de 2017 hasta 31 de Diciembre de 2017)	Previous YTD ultimos 12 meses (1 de Abril 2016 hasta 31 de Marzo de 2017)	Comments
# indicator	626	669	701	Σ nº Ots cerradas y canceladas en los últimos 12 meses
# Immediate repairs completed as a result of inspections	228	250	201	Σ nº OTs de mantenimiento correctivo cerradas y canceladas en los últimos 12 meses
# of scheduled repairs identified as a result of inspection	835	770	642	Σ nº OTs de mantenimiento planificadas en los últimos 12 meses
# of scheduled repairs completed on time	655	748	639	Σ nº OTs cerradas, realizadas y en ejecución, planificadas en el periodo y con fecha real de inicio en el periodo + Σ nº de OTs planificadas en el periodo y que se hayan cancelado en el periodo

Fuente: Bases de datos de GPG Costa Rica.

Tabla 3.4. Indicadores de Ordenes de Trabajo 2

Asset Integrity 2018 COSTA RICA	Current Quarter ultimos 12 meses (1 de Marzo 2017 hasta 28 de Febrero de 2018)		Previous Quarter ultimos 12 meses (1 de Diciembre de 2016 hasta 30 de Noviembre de 2017)		Previous YTD ultimos 12 meses (1 de Marzo 2016 hasta 28 de Febrero de 2017)		Comments
	Izq	Der	Izq	Der	Izq	Der	
Industrial facility inspections completed vs plan	328	356	406	432	345	367	(Izq.-> Σ nº OTs cerradas y canceladas de acciones preventivo-predictivo-legal con fecha prevista de inicio en los últimos 12 meses / Der.-> Σ nº OTs de acciones preventivo-predictivo-legal con fecha prevista de inicio en los últimos 12 meses)

Fuente: Bases de datos de GPG Costa Rica.

Ambas tablas anteriores muestran el tabulado de datos de órdenes de trabajo solicitados a la empresa para el control de actividades de mantenimiento llevadas a cabo, así como su tipo y estado de la actividad.

En general, las órdenes de trabajo le sirven a la empresa madre como un evaluador del estado de mantenimiento en cuanto a cómo y dónde se están invirtiendo el recurso humano de la empresa por lo que se fiscaliza el aprovechamiento de las horas laboradas por los colaboradores.

3.3.2 Disponibilidad

La disponibilidad es un indicador que la empresa maneja en el ámbito de operación. Técnicamente, lo que se hace es llevar un control horario del tiempo en que la máquina (unidades de generación) está a disposición para su puesta en marcha y generación con respecto al tiempo en que se llevan a cabo paradas, sean estas programadas o no. Se controla el tiempo en que la máquina está disponible, tomando en cuenta las horas totales del mes, esto comparado con las horas que se tienen programadas para paradas, así como las horas que se produce indisponibilidad por disparos.

La disponibilidad se controla porcentualmente mediante una fórmula proporcional a una regla de tres porcentual.

$$\text{Indisponibilidad} = \frac{tind}{tm} \times 100$$

Ecuación 3.1.

tind: Tiempo de duración de indisponibilidad, puede ser diario o mensual.

tm: Tiempo total, 24 horas para un día, o bien 24 x cantidad de días, para un mes.

La **Tabla 3.5.** Presupuesto Operativo La Joya especifica el presupuesto operativo de los primeros 6 meses del año 2017 para la planta. Tiene esa denominación, pero es en realidad un análisis del estado operativo de los generadores con respecto a su indisponibilidad y disponibilidad (resaltadas en color amarillo) comparado con las horas de cada mes en estudio.

Para los cálculos de indisponibilidad se utilizó la Ecuación 3.1.

Tabla 3.5. Presupuesto Operativo La Joya

		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Producción Neta	GWh	15.682	14.287	12.742	12.039	13.149	22.805
Producción Bruta	GWh	15.941	14.522	12.952	12.238	13.366	23.181
Arranques	N°	62	56	62	60	62	30
Disparos	N°	2	0	0	0	0	0
Disponibilidad	%	98.91%	100.00%	100.00%	100.00%	84.95%	92.22%
Indisponibilidad programada	%	1.08%	0.00%	0.00%	0.00%	15.05%	7.78%
Indisponibilidad no programada	%	1.80%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Horas totales							
Paradas Programadas	Hrs.	24	0	0	0	336	168
HEPC	Hrs.	314	286	255	241	263	456
Potencia en Operación Comercial	MW	50	50	50	50	50	50
Potencia instalada Bruta	MW	51	51	51	51	51	51
Factor de carga	%	42.16%	42.52%	34.25%	33.44%	35.35%	63.35%

Fuente: Bases de datos de GPG Costa Rica

4 Auditoría de Mantenimiento

Como antesala a lo que será la definición del modelo de gestión de mantenimiento adecuado para la empresa y como parte de la metodología de solución del problema se implementó la auditoría de mantenimiento MES.

La auditoría se define como “una revisión sistemática de una actividad o de una situación para evaluar el cumplimiento de las reglas o criterios objetivos a que aquellas deben someterse” (González, 2004). Es por esta razón que se considera necesaria la intervención mediante una auditoría del Departamento de Mantenimiento, esto con el fin de evaluar y conocer su estado actual en los 5 aspectos más relevantes del mantenimiento (caso particular de la auditoría MES).

La empresa debe tener claro que no existe una única metodología de aplicación de auditoría, cada una posee su cualidad particular y recolecta datos de diferente índole. Ahora bien, es primordial que se tenga clara su importancia para la generación de mejoras y el desarrollo de nuevas actividades que optimen el desempeño del Departamento de Mantenimiento.

En la Figura 4.1. Pasos para realizar una auditoría se amplían los pasos a seguir para la obtención de datos fiables y de calidad a la hora de realizar una auditoría.

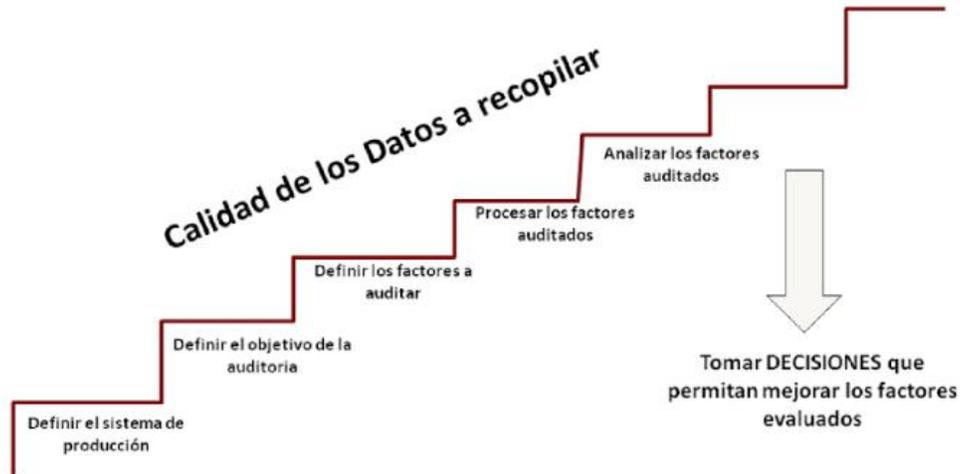


Figura 4.1. Pasos para realizar una auditoría
Fuente: Parra y Crespo 2012

4.1 Resultados obtenidos de la aplicación de la auditoría MES al Departamento de Mantenimiento de GPG Costa Rica

Para la aplicación de la auditoría MES en el Departamento de Mantenimiento de GPG Costa Rica se realizó una adecuación de términos para acoplar las preguntas al entendimiento de todo el personal en general, desde el Jefe de Planta hasta los ayudantes. La encuesta se aplicó a un total de 13 personas todos miembros del personal activo y permanente de la empresa. El personal encuestado incluyó al Jefe de Planta, Jefe de Operación y Mantenimiento, Montadores Mecánico y Eléctrico con sus respectivos Operarios y ayudantes, además de 2 operadores. Al tratarse de un departamento de pequeñas dimensiones, no se tomó una muestra poblacional, si no que se dispuso de la totalidad del personal dedicado al mantenimiento ya sea de forma práctica o administrativa.

En la **Tabla 4.1.** Resultados de la auditoría MES por área y número de encuestase tabulan los datos obtenidos en la auditoría y su puntaje por área evaluada en la encuesta, las 13 encuestas fueron evaluadas en cada uno de los 5 aspectos esenciales del mantenimiento con 12 preguntas en cada área y clasificadas en una escala de 1 a 5 como lo aplica la MES.

Tabla 4.1. Resultados de la auditoría MES por área y número de encuesta

Encuesta	Puntaje por Área				
	Recursos Gerenciales	Gerencia de la Información	Equipos y Técnicas de Mantenimiento Preventivo	Planificación y Ejecución	Soporte, Calidad y Motivación
1	39	38	40	38	28
2	33	30	40	45	42
3	53	41	50	48	42
4	34	35	35	37	32
5	43	32	44	35	42
6	48	43	44	46	43
7	43	26	28	35	25
8	35	35	33	40	32
9	32	22	31	45	30
10	41	43	45	45	44
11	43	27	30	31	34
12	40	33	43	40	34
13	48	47	49	48	35

Fuente: Elaboración propia

La auditoría MES califica con un puntaje máximo de 60 a cada aspecto evaluado; la **Tabla 4.2.** Cuadro resumen de Auditoría MES muestra los resultados de cada área luego de ser tabulados y promediados, obteniendo así el puntaje total por área y el margen de cada área con respecto al puntaje óptimo y su respectiva desviación estándar. De esta tabla se obtiene, también, la nota final de la auditoría, la cual refleja el estado real del Departamento de Mantenimiento.

Tabla 4.2. Cuadro resumen de Auditoría MES

Área	Puntaje Óptimo	Puntaje Obtenido	Margen	Desviación Estándar
Recursos Gerenciales	60	40.923	19.077	6.383
Gerencia de la Información	60	34.769	25.231	7.463
Equipos y Técnicas de Mantenimiento Preventivo	60	39.385	20.615	7.309
Planificación y Ejecución	60	41.000	19.000	5.553
Soporte, Calidad y Motivación	60	35.615	24.385	6.332
Total	300	191.7		

Fuente: Elaboración propia

La nota final de la auditoría fue de 191.7, la cual, según la clasificación de la **Tabla 4.3.** Escala de Puntuación MESse encuentra por arriba del nivel promedio de mantenimiento aceptable. Esto deja un amplio margen de posibles mejoras en todas las áreas, pero, sobre todo, se deben enfatizar las mejores en 3 áreas principales (resaltadas en naranja), las cuales presentaron un mayor margen con respecto al óptimo.

Tabla 4.3. Escala de Puntuación MES

Categoría	Puntuación
Clase Mundial	261-300
Muy Buena	201-260
Por arriba del nivel promedio	141-200
Por debajo del promedio	81-140
Muy por debajo del promedio	0-80

Fuente: Elaboración propia

Para el complemento y tabulación de datos de la **Tabla 4.2.** Cuadro resumen de Auditoría MESse utilizó el análisis mediante la herramienta Minitab 17, donde se graficó cada área del mantenimiento que se evalúa en la encuesta de la auditoría y del que se obtienen datos como la desviación estándar y el promedio, basado en la cantidad de encuestas realizadas.

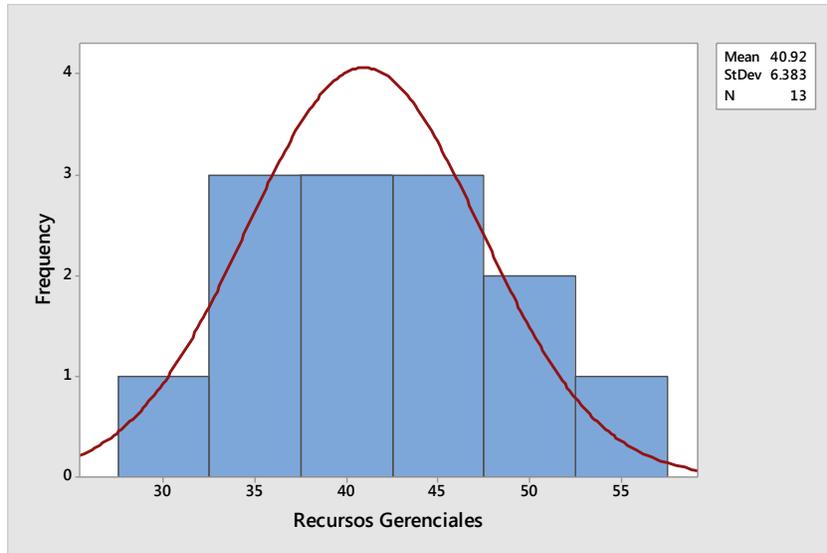


Gráfico 4.1. Recursos Gerenciales
Fuente: Elaboración propia

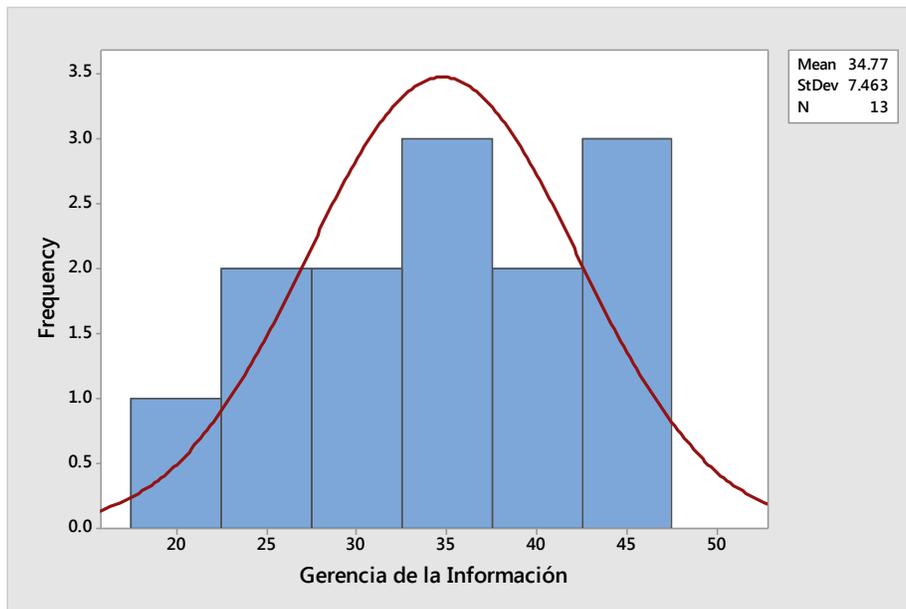


Gráfico 4.2. Gerencia de la Información
Fuente: Elaboración propia

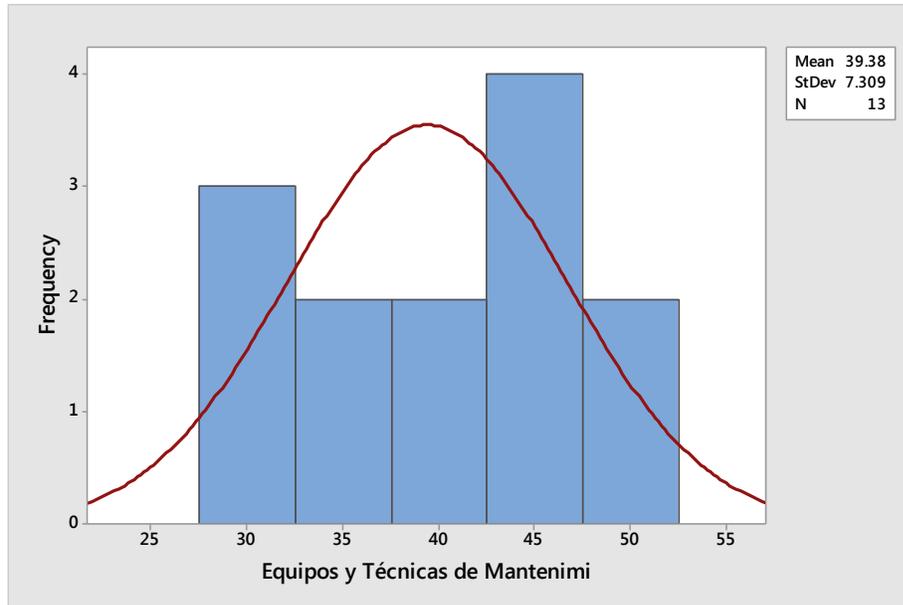


Gráfico 4.3. Equipos y Técnicas de Mantenimiento Preventivo
Fuente: Elaboración propia

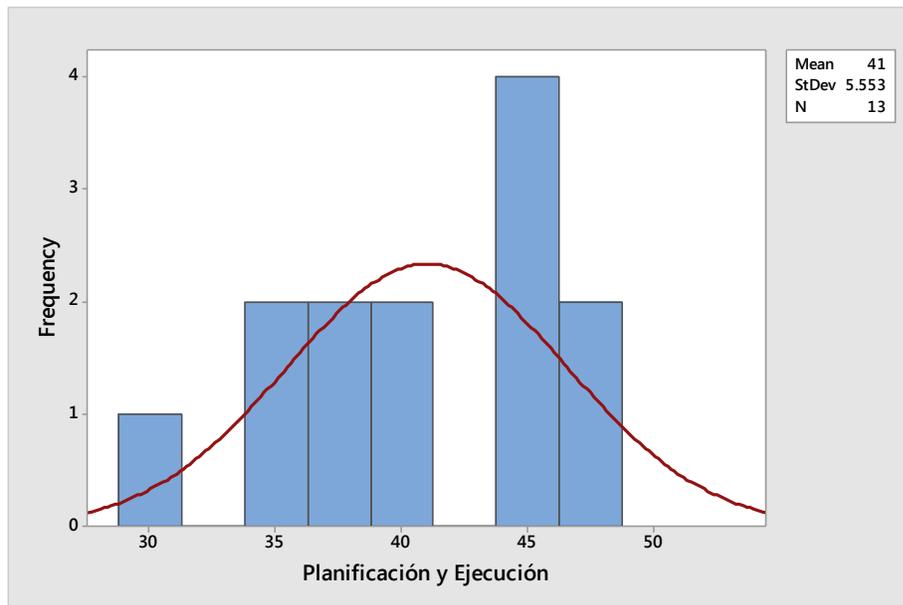


Gráfico 4.4. Planificación y Ejecución
Fuente: Elaboración propia

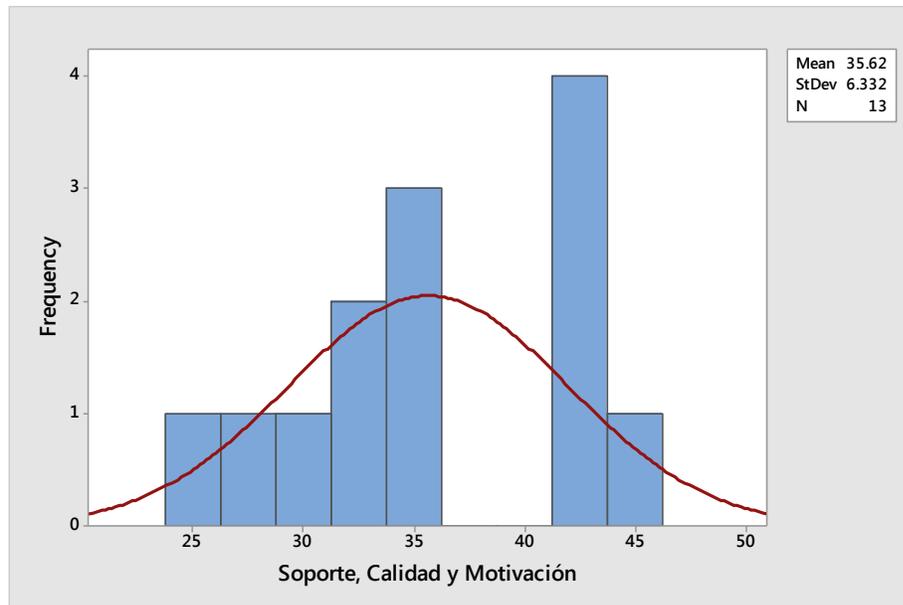


Gráfico 4.5. Soporte, Calidad y Motivación
Fuente: Elaboración propia

El gráfico a continuación muestra la resolución de lo que sería el nivel deseado versus al obtenido al aplicar la auditoría MES; se divisa que los dos puntos que resultaron con margen más amplio con respecto al ideal son: Gerencia de la información y el área de Soporte, Calidad y Motivación. Por ende, estos dos aspectos deben ser los que con mayor énfasis se deban mejorar dentro del Departamento.

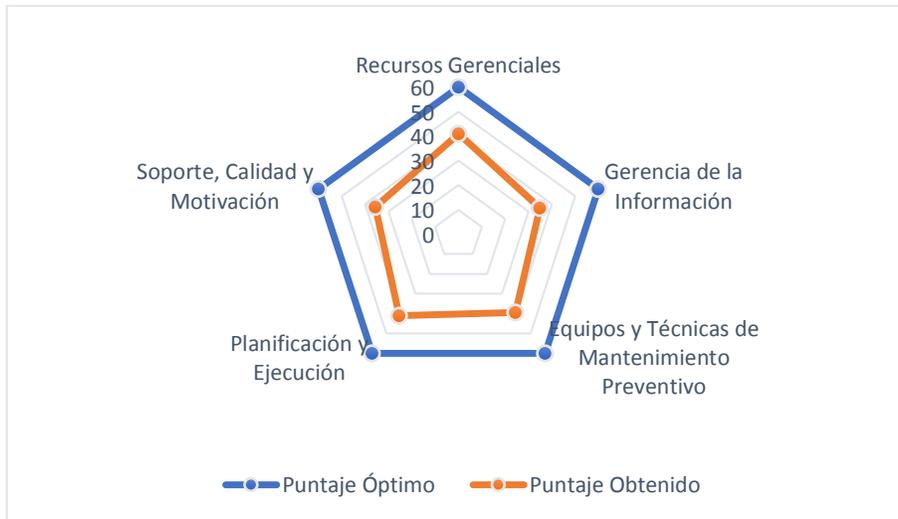


Gráfico 4.6. Resultados de Auditoría MES
Fuente: Elaboración propia

4.2 Análisis del margen de la auditoría

Para el análisis del margen resultante de la auditoría se enfatizará cada una de las áreas estudiadas del mantenimiento para determinar cuál de los aspectos genera mayor problemática dentro del Departamento.

En el Gráfico 4.7. Análisis del Margen se muestra una distribución en barras del puntaje óptimo en relación con el obtenido en cada una de las 5 áreas, lo que refleja que el margen mayor se encuentra en el área de Gerencia de la Información seguido de Soporte, Calidad y Motivación, siendo los dos aspectos a los que se les debe prestar mayor énfasis en mejora.

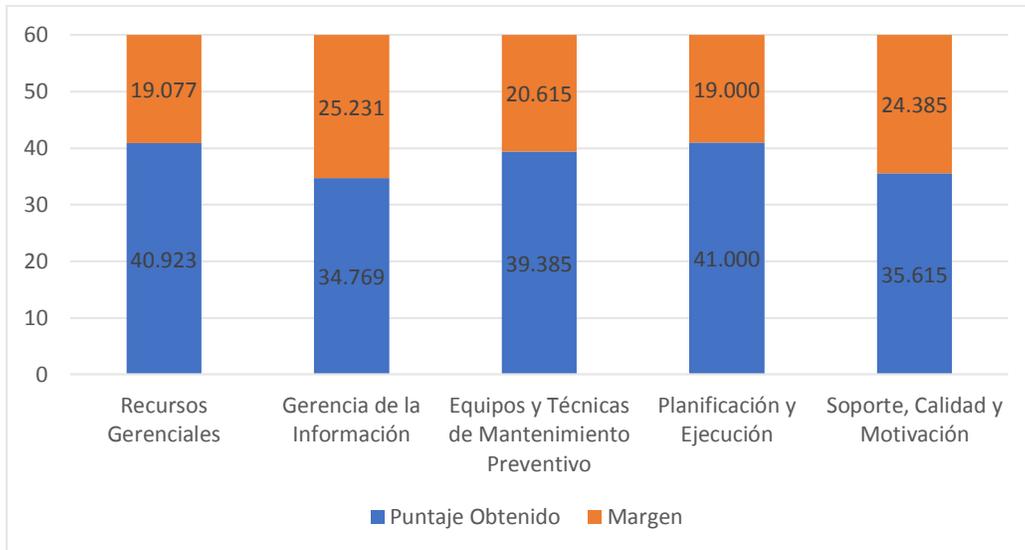


Gráfico 4.7. Análisis del Margen
Fuente: Elaboración propia

En las tablas subsiguientes se resaltan en amarillo las preguntas que obtuvieron un promedio de calificación igual o menor que 3, esto promediado entre las 13 encuestas realizadas. Con ello se busca estudiar los aspectos que se deben mejorar para lograr un mejor nivel de mantenimiento.

4.2.1 Recursos Gerenciales

En lo que respecta al área de Recursos Gerenciales, básicamente, se deben mejorar aspectos de comunicación de los objetivos generales de la empresa hacia la totalidad de sus colaboradores, que estos no se queden ondeando solo en la zona de los altos mandos y que sean adecuadamente explicados y transmitidos a todos con el fin de que puedan sentirse identificados y comprometerse con ellos. Así como identificar y proponer mejoras para las trabas e inquietudes que puedan tener los colaboradores y que se convierten en fuentes de impedimento o atraso para la realización de sus labores.

Tabla 4.4. Calificación promedio Recursos Gerenciales

Recursos Gerenciales	Promedio
1. ¿Usted siente que el departamento de mantenimiento está capacitado para realizar su trabajo?	4.46
2. ¿Conoce la estructura del mantenimiento? ¿Parece ser lógica y favorece al cumplimiento de las actividades de mantenimiento?	3.85
3. ¿La organización le ayuda a eliminar las barreras que como parte del personal de mantenimiento encuentra en su trabajo y de las cuales no tiene control?	3.00
4. ¿La jefatura estimula a mantenimiento a alcanzar las metas de producción?	3.31
5. ¿La jefatura estimula a los operadores a que ayude a mantenimiento en la realización de sus actividades?	3.23
6. ¿Se desarrollan equipos de trabajo (mantenimiento y producción), para resolver tópicos que afectan a ambos departamentos?	3.00
7. ¿La jefatura estimula al personal de mantenimiento (mecánicos, eléctricos) y a los operadores a que trabajen juntos en la resolución de problemas que afectan la disponibilidad de sus procesos?	3.08
8. ¿Cómo parte del personal de mantenimiento considera que posee las habilidades necesarias para realizar sus trabajos?	4.15
9. ¿Los trabajadores en general han recibido el adiestramiento requerido para sus áreas de trabajo?	3.38
10. ¿La jefatura involucra a todo el personal de mantenimiento en la definición de sus objetivos y metas a cumplir?	2.85
11. ¿La jefatura revisa y le hace seguimiento a los objetivos de la planta en reuniones de trabajo con el personal de mantenimiento y operadores?	2.92
12. ¿Los objetivos del mantenimiento están alineados con la visión y misión del negocio?	3.77

Fuente: Elaboración propia

4.2.2 Gerencia de la Información

El Gráfico 4.7. Análisis del Margen enseña que el margen diferencial entre el puntaje óptimo y el obtenido en el área de Gerencia de la información es el más amplio de la auditoría con casi 26 puntos de distancia. Esto la convierte en el área que debe atacarse con mayor dedicación para poder solucionar los problemas del mantenimiento.

Se divisan deficiencias en registro de fallas, manejo de inventario de repuestos y toma de decisiones hacia y desde el software de mantenimiento utilizado (APIPRO 9).

Tabla 4.5. Calificación promedio Gerencia de la Información

Gerencia de la Información	Promedio
13. ¿La organización utiliza de forma eficiente el sistema computarizado de gestión del mantenimiento (APIPRO)?	3.46
14. ¿Está cada componente identificado, codificado y asociado a un sistema dentro de toda la planta?	3.54
15. ¿La organización mantiene actualizado en cuanto a la información de la empresa el APIPRO?	3.62
16. ¿Ha sido el personal debidamente entrenado para su uso?	3.08
17. ¿Lo organización mantiene registros precisos de fallas de sus sistemas?	2.92
18. ¿Están los inventarios de repuestos actualizados dentro del APIPRO?	2.69
19. ¿Se toman decisiones a partir de los reportes generados por él?	2.38
20. ¿La organización estima y le hace seguimiento a los costos de mantenimiento?	2.15
21. ¿La organización evalúa los tiempos operativos y fuera de servicio?	3.46
22. ¿La organización de mantenimiento se compara contra otras organizaciones para medir su desempeño?	2.31
23. ¿El tiempo de realización del mantenimiento es registrado correctamente y evaluado?	2.69
24. ¿La jefatura de mantenimiento utiliza algún tipo de medida de comparación (costos de mantenimiento/costes de producción)?	2.46

Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Equipos y Técnicas de Mantenimiento Preventivo

Este aspecto posee deficiencias más puntuales, se debe tener en cuenta el realizar periódicamente un análisis de las actividades de mantenimiento preventivo para encontrar mejoras en su aplicación. Además, la encuesta refleja desconocimiento en el análisis de costos vinculados a las actividades de mantenimiento.

Tabla 4.6. Calificación promedio Equipos y Técnicas de Mantenimiento Preventivo

Equipos y técnicas de mantenimiento preventivo	Promedio
25. ¿La organización utiliza órdenes de trabajo para las actividades de mantenimiento preventivo?	4.23
26. ¿Se revisan periódicamente los planes de mantenimiento preventivo, aumento/descenso, necesidades de adiestramiento, etc.?	2.46
27. ¿La organización tiene personal de mantenimiento dedicado exclusivamente a realizar actividades de mantenimiento preventivo?	3.15
28. ¿Los operadores ayudan en las actividades de mantenimiento menor (limpieza, lubricación, ajustes e inspección visual)?	3.46
29. ¿La organización utiliza técnicas de mantenimiento predictivo (vibración, análisis de aceite, ultrasonido, etc.)?	4.08
30. ¿La organización le hace seguimiento a los costos de mantenimiento preventivo y predictivo?	2.38
31. ¿El grupo de operación permiten que el personal de mantenimiento tenga acceso a los equipos en las fechas estimadas de mantenimiento preventivo?	3.85
32. ¿La organización tiene la cultura de analizar y evitar las fallas repetitivas?	3.38
33. ¿Se incluye al personal de mantenimiento y producción en el proceso de evaluación de equipos nuevos?	3.15
34. ¿Se adiestra de forma adecuada a las personas que van a operar los equipos nuevos?	3.23
35. ¿Se adiestra de forma adecuada a las personas que van a mantener los equipos nuevos?	3.31
36. ¿La organización hace seguimiento y evalúa los costos de operación y mantenimiento, a lo largo del ciclo de vida de sus activos?	2.77

Fuente: Elaboración propia

4.2.4 Planificación y Ejecución

El área de Planificación y Ejecución fue la mejor calificada dentro de la auditoría con un margen de 19 puntos con respecto al óptimo. El aspecto más relevante es la planificación de las actividades, ya que por parte del personal existe una sensación de que deben ser mejor organizadas para evitar tiempos de espera y atrasos.

Tabla 4.7. Calificación promedio Planificación y Ejecución

Planificación y Ejecución	Promedio
37. ¿Existe una adecuada planificación de las actividades de mantenimiento correctivo/preventivo?	2.85
38. ¿La organización utiliza órdenes de trabajo para las actividades correctivas?	3.69
39. ¿Se le hace seguimiento a la ejecución de las actividades de mantenimiento correctivo/preventivo en cuanto a tiempo y mano de obra?	3.23
40. ¿La organización controla el sobre tiempo (adicional al planificado)?	3.15
41. ¿La organización registra la información obtenida por la ejecución de la actividad de mantenimiento (correctiva/preventiva)?	3.85
42. ¿Son los trabajadores de mantenimiento asignados a las distintas labores en función de sus conocimientos y habilidades?	4.08
43. ¿Son las actividades correctivas bien planificadas antes de ejecutarse?	2.92
44. ¿La organización utiliza planificadores de mantenimiento para preparar el alcance de mantenimientos mayores?	3.31
45. ¿La organización utiliza contratistas especializados para realizar labores de mantenimiento subcontratado?	3.23
46. ¿La organización participa en la definición de las actividades de trabajo y en la estimación de tiempos de ejecución de los contratistas?	3.15
47. ¿Se tiene en cuenta el impacto (seguridad, ambiente y producción) que tiene el sistema en el cual se va a ejecutar el mantenimiento?	4.08
48. ¿Se define el camino crítico de los mantenimientos mayores y se identifican los repuestos críticos?	3.46

Fuente: Elaboración propia

4.2.5 Soporte, Calidad y Motivación

El último aspecto auditado es uno de los puntos más frágiles dentro de la organización, según los resultados. Además, es un aspecto de trato delicado al conllevar temas como la motivación y el sentir general del grupo de trabajo.

Los miembros del Departamento consideran que los insumos y repuestos necesarios para realizar las tareas de mantenimiento no son adecuadamente gestionados al no presentarse un control organizado y planificado de lo que debe tenerse para realizar las tareas. Asimismo, se considera la calidad un aspecto más importante que la rapidez en la realización del trabajo, pero no existe una forma de medir lo.

Por último, el personal considera que no se atienden debidamente sus necesidades, añadido a esto no consideran que su buen desempeño sea recompensado de manera justa, ya sea económica o de forma motivacional.

Tabla 4.8. Calificación promedio Soporte, Calidad y Motivación

Soporte, Calidad y Motivación	Promedio
49. ¿Se planifican correctamente los materiales e insumos a la hora de ejecutar actividades de mantenimiento?	2.77
50. ¿Está el almacén de repuestos bien organizado y sus tiempos de respuesta son eficientes?	2.46
51. ¿Se controla bien la salida y entrada de repuestos al almacén?	2.46
52. ¿Se tiene un proceso de cuantificación de stock de repuestos que incluya el criterio del impacto de no tener el repuesto en almacén?	2.85
53. ¿Se tienen identificados los tiempos de reposición y los costos de los repuestos?	2.46
54. ¿El criterio de calidad en el desarrollo de las actividades de mantenimiento está por encima del criterio de rapidez?	3.15
55. ¿Se tiene un proceso que permita verificar la calidad de las actividades de mantenimiento ejecutadas?	2.77
56. ¿Es la calidad en el área de mantenimiento un objetivo importante?	3.54
57. ¿Tiene la organización un interés real en satisfacer las diferentes necesidades de sus trabajadores?	2.92
58. ¿El buen desempeño como trabajador es bien recompensado dentro de la organización (económico - motivacional)?	2.62
59. Como personal de mantenimiento ¿Se siente motivado para realizar su trabajo lo mejor posible?	3.31
60. ¿El personal de mantenimiento sigue las políticas y procedimientos de seguridad?	4.31

Fuente: Elaboración propia

4.3 Expectativas de mejora

La expectativa se define como la esperanza o posibilidad de conseguir algo, en este caso una o varias metas. Al encontrarse con la evaluación de la auditoría en una calificación que coloca al Departamento “Por arriba del nivel promedio”, la recomendación es que se busque siempre mejorar, pero se debe tener claro que los procesos de mejora se deben implementar de forma paulatina para que tengan un efecto duradero y de peso en la organización. Es por esto que, con el fin de plantearse metas reales, se pretende llegar a un nivel de mantenimiento “Muy Bueno” dentro de la escala MES.

Analizando el rango de puntuación de la categoría “Muy Bueno”, el cual se encuentra entre 201 y 260 puntos, se deduce que cada área del mantenimiento de MES debe puntuar en por lo menos un promedio de 41, para lograr la meta.

Tabla 4.9. Datos de Expectativa de la auditoría MES

Área	Puntaje Obtenido	Expectativa	Nuevo Margen
Recursos Gerenciales	40.923	0.077	19
Gerencia de la Información	34.769	6.231	19
Equipos y Técnicas de Mantenimiento Preventivo	39.385	1.615	19
Planificación y Ejecución	41.000	0.000	19
Soporte, Calidad y Motivación	35.615	5.385	19

Fuente: Elaboración propia

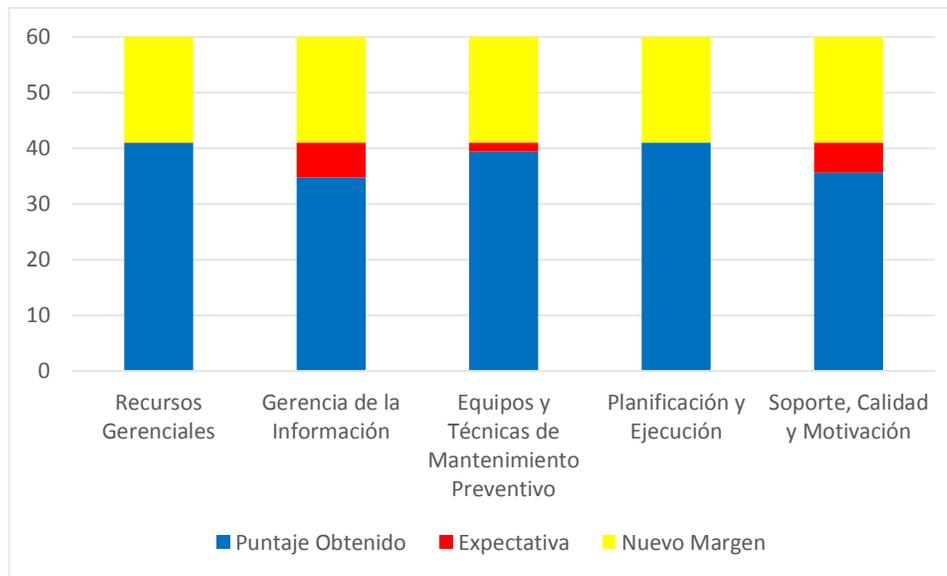


Gráfico 4.8. Expectativa de la auditoría
Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 4.9.** Datos de Expectativa de la auditoría MES se tabularon los datos de los valores mínimos requeridos para cumplir con la expectativa de llegar a un nivel “Muy bueno” de mantenimiento, según el puntaje obtenido actual, y

generando con ello un nuevo margen, se deja espacio para un proceso de mejora continua inclusive hasta alcanzar el nivel de “Clase Mundial”.

Mediante la observación del Gráfico 4.8. Expectativa de la auditoríase concluye que las expectativas más amplias por cumplir son las de las áreas de Gerencia de la Información y la de Soporte, Calidad y Motivación, aspectos que deben ser atacados con mayor fuerza con miras a la mejora del Departamento.

4.3.1 Mejoras por área de mantenimiento

En el diagrama de Ishikawa de la Figura 4.2. Diagrama Ishikawa, mejoras del Departamento de Mantenimientose enseñan los aspectos a mejorar para cada área del mantenimiento evaluada en la auditoría MES, planteadas con el fin de lograr las expectativas propuestas para lograr una calificación de prácticas de mantenimiento “Muy Bueno”, según la escala MES.

4.3.1.1 Recursos Gerenciales

Dentro del área de Recursos Gerenciales es clave buscar la disminución de las barreras que el personal pueda encontrar y que afectan la realización de sus funciones. Es de suma importancia transmitirle al personal de Mantenimiento y Producción los objetivos de la empresa con el fin de que el personal se sienta identificado y tenga claras cuáles son las metas que como equipo deben lograr. Se puede alcanzar mediante la implementación de bonificaciones, capacitaciones o actividades recreativas que motiven al cumplimiento activo de las metas propuestas, generando así una mejor aceptación y disposición del personal para cumplir con los objetivos de la organización.

4.3.1.2 Gerencia de la Información

Esta área al ser la que más flaqueó dentro de la auditoría será la que deba atacarse con mayor fuerza. Se debe mejorar dentro del APIPRO 9 el registro de fallas y cargar uno completo de repuestos e insumos necesarios. Se requiere comenzar a darle seguimiento a los costos de las actividades de mantenimiento, más que todo en el aspecto de horas laboradas, además de reportarlas a tiempo y de forma real para mantener parámetros reales de inversión.

4.3.1.3 Equipo y Técnicas de mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo es la herramienta más importante con la que cuenta la empresa en su plan de mantenimiento por ello es importante que este sea analizado periódicamente para su mejora y control. También, es de relevancia llevar un control estricto de costos del preventivo con el fin de conocer los números que cada parada de mantenimiento le deja a la empresa, esto permite la valoración efectiva del ámbito costo vs beneficio que estas actividades traen consigo.

4.3.1.4 Planificación y Ejecución

A pesar de contar con un plan preventivo, este debe mejorar en cuanto a planificación, es necesario que se conozca cuáles son las vinculaciones entre tareas y actividades de mantenimiento y detallar los procedimientos a realizar en cada actividad del plan, tanto dentro del preventivo como en actividades de índole correctivo.

4.3.1.5 Soporte, Calidad y Motivación

También vinculado a la planificación, en cuanto al aspecto de organizar repuestos y materiales necesarios para la realización de actividades de mantenimiento. Se genera la necesidad de verificar la calidad del mantenimiento realizado, autoevaluando las actividades y analizando pro y contra de los

procedimientos realizados. Es importante mantener el personal motivado e incentivado, esto generará confianza y satisfacción en la realización de las tareas y actividades, mejorando su calidad y desempeño.

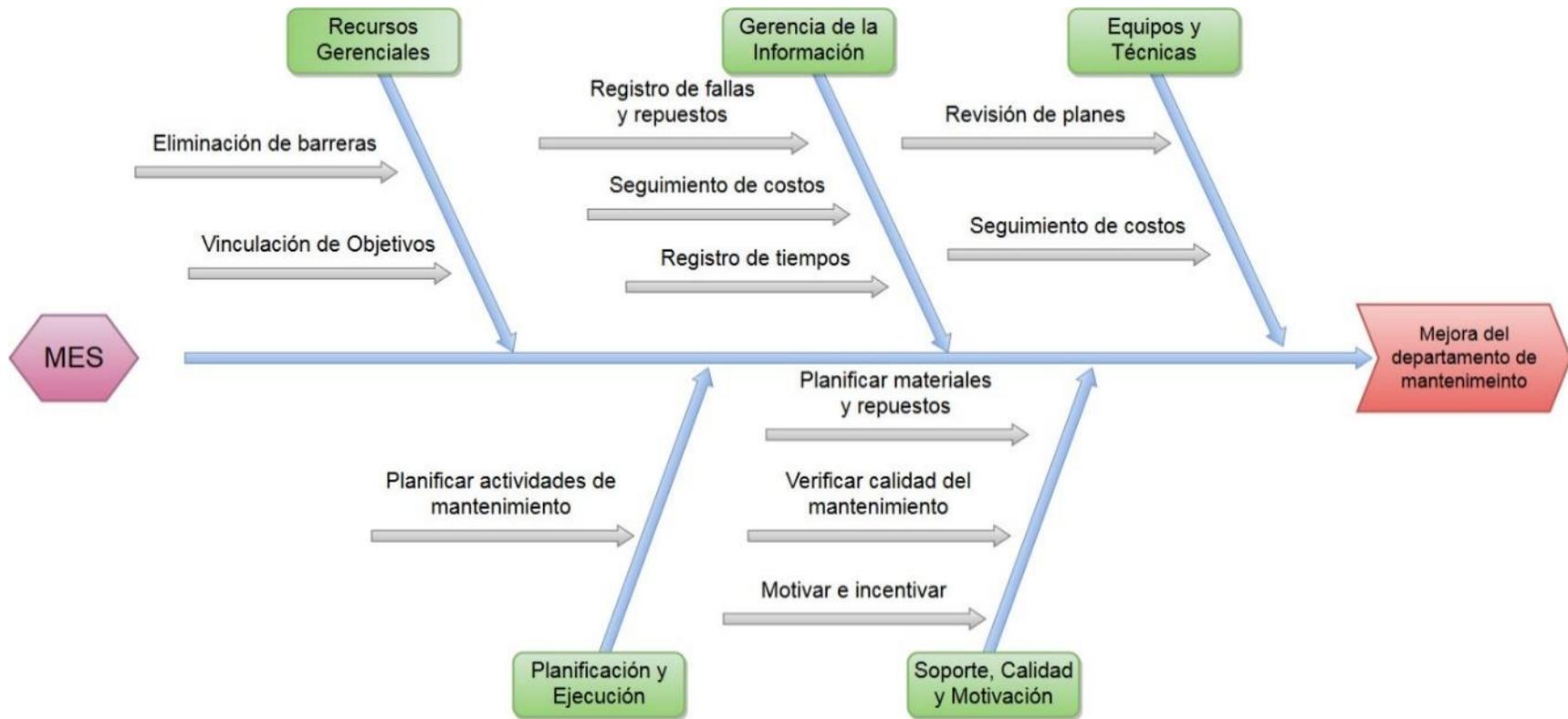


Figura 4.2. Diagrama Ishikawa, mejoras del Departamento de Mantenimiento
Fuente: Elaboración propia

5 Auditoría 5 S

Para la implementación de la auditoría 5S se inspeccionó la bodega general de la planta Torito en donde se mantiene un área de almacenaje de equipo y otra seccionada de repuestos de menor cuantía e insumos tanto de mantenimiento como equipo de seguridad.

Se seleccionó la bodega general con el fin de implementar un plan piloto donde se muestre a la empresa los pasos a seguir para la implantación y consecución del programa y su posible implementación en el resto de la planta.

Como resultado de la inspección en la auditoría de 5S en dicho lugar se obtuvo una nota de 61,71.

5.1 Recomendaciones de la auditoría 5S

Para elevar la calificación de la auditoría y corregir las fallas encontradas se elaboraron las siguientes recomendaciones enumeradas según su número de evaluación dentro de la auditoría:

8. En el momento de la inspección, se encontraron trabas al acceso al extintor por lo que se recomienda, más que liberar el espacio de acceso, crear una cultura de conciencia donde se establezca el no obstruir el paso.

9. Se recomienda realizar las inspecciones mensuales programadas a los extintores, al momento de auditar se tenían 2 meses sin realizar, además se valora la posibilidad de instalar un extintor adicional contemplando la amplitud de la bodega.

10. El extintor no está debidamente identificado por lo que es necesaria su rotulación con zona pintada o cartel indicativo.



Figura 5.1. Extintor de Bodega
Fuente: Elaboración propia

11. Las lámparas de emergencia no se encontraron en funcionamiento por lo que se debe verificar el buen estado y su correcta activación.

14. Falta señalización de rutas de evacuación, se recomienda instalar rótulos indicativos de posibles zonas de evacuación dentro de la bodega.

23. Se debe rotular adecuadamente las zonas de almacenaje de máquinas herramientas dentro de la bodega.



Figura 5.2. Área de Máquinas y Equipo
Fuente: Elaboración propia

26. Realizar limpieza general de herramienta manual antes de su almacenamiento en los estantes.

33. Falta rotulación informativa en sistemas eléctricos, se debe marcar el voltaje de trabajo de los toma corrientes y el tablero principal de interruptores.



Figura 5.3. Centro de carga de bodega general
Fuente: Elaboración propia

43. Presencia de suciedad en los pisos de bodega, realizar lavado general y limpieza de zonas libres.

44. Revisión y reparación de grietas y reventaduras en los pisos de bodega.

45. No existe organización de zonas de almacenaje ni demarcación de pasillos por lo que es necesario hacerlo.



Figura 5.4. Bodega General
Fuente: Elaboración propia

49. Se encontró suciedad en las puertas de acceso y divisorias de bodega, realizar limpieza rutinaria de las mismas.

57. Deben rotularse y organizarse los basureros presentes en bodega para mejor disposición de los desechos.



Figura 5.5. Basureros de bodega
Fuente: Elaboración propia

62, 63, 64, 65, 66. No se dispone de botiquín de primeros auxilios en la bodega general, por lo que se sugiere la colocación de un maletín auxiliar con implementos de primera atención.

5.2 Propuestas de mejora para el 5S

Para mejorar la aplicación del 5S en bodega se propone como meta subir la calificación obtenida de 61,71 a una nota igual o superior a 80, mediante la aplicación de las recomendaciones mencionadas.

5.2.1 Procedimientos de mejora

- 8.** Quitar obstáculos cercanos a extintores.
- 9.** Realizar inspección mensual de extintor e instalar extintor adicional.
- 10.** Rotular extintor.
- 11.** Activar lámparas de emergencia.
- 14.** Rotular rutas de evacuación.
- 23.** Rotular zonas de almacenaje.
- 26.** Limpiar herramientas en estantes.
- 33.** Rotular toma corrientes y centro de carga.
- 43.** Lavado de pisos.
- 44.** Reparación de grietas.
- 45.** Demarcar zonas de paso y almacenaje. Ver Anexo 4. Croquis de demarcación de Bodega
- 49.** Limpiar puertas
- 57.** Rotular basurero general y sacar basureros adicionales.
- 62, 63, 64, 65, 66.** Colocar un maletín auxiliar con implementos de primera atención.

5.3 Implementación de Mejoras

Para cumplir con la aplicación del método 5S se realizaron las mejoras necesarias y así alcanzar los estándares requeridos por la auditoría, se puso como meta al finalizar la implementación obtener una nota mínima de 80 puntos en la auditoría.

Con el fin de incorporar al personal en la implementación y conocimiento del programa 5S, se contó con la colaboración del personal del área mecánica para las labores de limpieza y demarcación de zonas de almacenaje. El encargado de bodega ayudó con la organización de los estantes, la distribución de las zonas a demarcar fue organizada por el jefe de operación, la rotulación de zonas de evacuación fue por parte del ingeniero en seguridad y el departamento de eléctrica contribuyó con la identificación del centro de carga y toma corrientes.

5.3.1 Aspectos mejorados

8. Se liberó de obstáculos la zona de acceso al extintor.
9. Se realizó la inspección mensual pendiente al mes 7 del 2018 del extintor.



Figura 5.6. Ficha de inspección de extintor
Fuente: Elaboración propia

10. Se realizó la rotulación del extintor.



Figura 5.7. Rotulación de Extintor
Fuente: Elaboración propia

11. Se reactivaron las lámparas de emergencia.



Figura 5.8. Lámpara de Emergencia
Fuente: Elaboración propia

14. Se rotularon las salidas y rutas de evacuación.



Figura 5.9. Ruta de Evacuación
Fuente: Elaboración propia



Figura 5.10. Flecha de señalización
Fuente: Elaboración propia

23. Rotulación de estantes de almacenaje.



Figura 5.11. Rotulación
Fuente: Elaboración propia

26. Se limpiaron y acomodaron los estantes de herramientas y repuestos.



Figura 5.12. Estante de Repuestos
Fuente: Elaboración propia

33. Se realizó la rotulación del centro de carga de bodega general, se rotularon los apagadores y se indica codificación y voltaje de toma corrientes.



Figura 5.13. Centro de Carga
Fuente: Elaboración propia



Figura 5.14. Rotulación de apagadores
Fuente: Elaboración propia



Figura 5.15. Rotulación de Toma Corriente
Fuente: Elaboración propia

43. Se realizó limpieza general y lavado de pisos.

45. Se realizó la demarcación de zonas de carga y almacenaje.



Figura 5.16. Demarcación de pisos
Fuente: Elaboración propia

49. Se realizó limpieza de puertas y ventanas.

57. Identificación de basurero y reubicación de estañones de desechos.

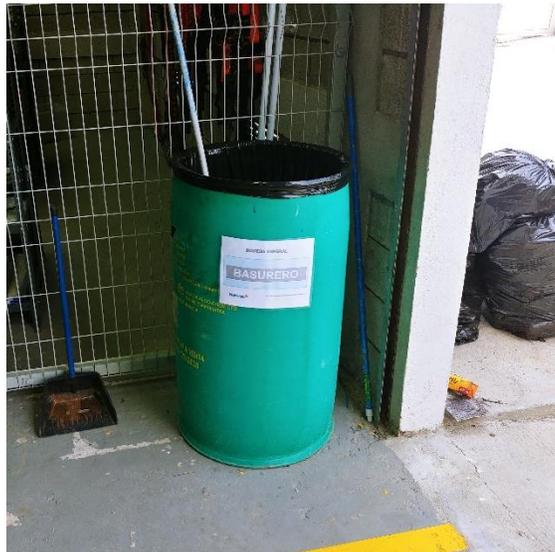


Figura 5.17. Basurero bodega general
Fuente: Elaboración propia

5.4 Costos de implementación de mejoras

Para el alcance de las mejoras propuestas como resultado de la auditoría se debió invertir en algunos artículos y mano de obra utilizada para llevar a cabo la implementación y lograr la meta de los 80 puntos.

En la **Tabla 5.1**. Costos de mejoras del 5 Sse muestra el desglose de los artículos necesarios para la implementación de mejoras con sus respectivos costos. Se detalla, además, que la mayor parte de los elementos necesarios se tenían actualmente en stock de bodega por lo que se redujo básicamente al coste de mano de obra.

Tabla 5.1. Costos de mejoras del 5 S

Artículo	Cantidad	Medida	Precio Unitario (colones)	Total (colones)	En bodega	Gasto Real
Rótulos de Extintores	1	Unidad	3200	3200	si	0
Rótulos de Salida de emergencia	1	Unidad	2800	2800	si	0
Señales de salida de emergencia	2	Unidad	8200	16400	si	0
Pintura Amarilla	1.5	Galón	17255	25882.5	si	0
Diluyente Thiner	1	Galón	4120	4120	si	0
Felpa para rodillo	3	Unidad	645	1935	si	0
Cinta Masking	11	Unidad	600	6600	si	0
Mano de obra	48	Hora	3501.73	168083.04		168083.04
Total				¢229 020.54		¢168 083.04

Fuente: Elaboración propia

6 Aplicación de la regla de Pareto

Para el análisis de las fallas frecuentes dentro de las plantas se extrajeron los datos de las órdenes de trabajo realizadas y cerradas desde el mes de enero de 2017 hasta el mes de junio de 2018. Como la finalidad del análisis de Pareto es encontrar los elementos que generan mayor problemática al Departamento de Mantenimiento, se realizó la filtración de datos basado en mantenimientos correctivos del periodo mencionado.

6.1 Pareto Torito

Se extrajeron los datos de las OT generadas del software APIPRO 9 y se filtraron para atender las relacionadas solo a la planta Torito, que se clasificaron según mantenimiento correctivo. Para tal efecto se utilizó la codificación tipo KKS que la empresa usa para el manejo interno de datos, órdenes y permisos de trabajo. (Ver Anexo 5. Codificación KKS Torito).

En la **Tabla 6.1. Grupos de Falla Torito** se agruparon los distintos grupos de falla según las OT de año y medio atrás para la planta Torito. De las 12 áreas de la clasificación se atendieron actividades correctivas en 10 de ellas para un total de 62 acciones de mantenimiento correctivo en un lapso 18 meses, promediando 3,4 mensuales.

Tabla 6.1. Grupos de Falla Torito

Grupo de Falla	Frecuencia	Frecuencia acumulada	% del total	% acumulado del total
VIAS FLUVIALES	20	20	32%	32%
MÁQUINA PRINCIPAL	13	33	21%	53%
SUMINISTRO DE AGUA Y DRENAJE	8	41	13%	66%
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	5	46	8%	74%
SISTEMAS DE POTENCIA	4	50	6%	81%
SIST. AUXILIARES	4	54	6%	87%
MAQUINARIA PESADA	3	57	5%	92%
DISTRIBUCIÓN	2	59	3%	95%
CONTROL, INSTRUMENTACIÓN Y PROTECCIÓN	2	61	3%	98%
ESTRUCTURAS	1	62	2%	100%
Total	62	62	100%	

Fuente: Elaboración propia

En color amarillo se resaltan los cuatro grupos de falla que abarcan casi el 80% de las actividades correctivas llevadas a cabo por lo que presentan el grupo de mayor incidencia en cuanto a fallas y que deben ser analizados con mayor profundidad dentro de los planes de mantenimiento.

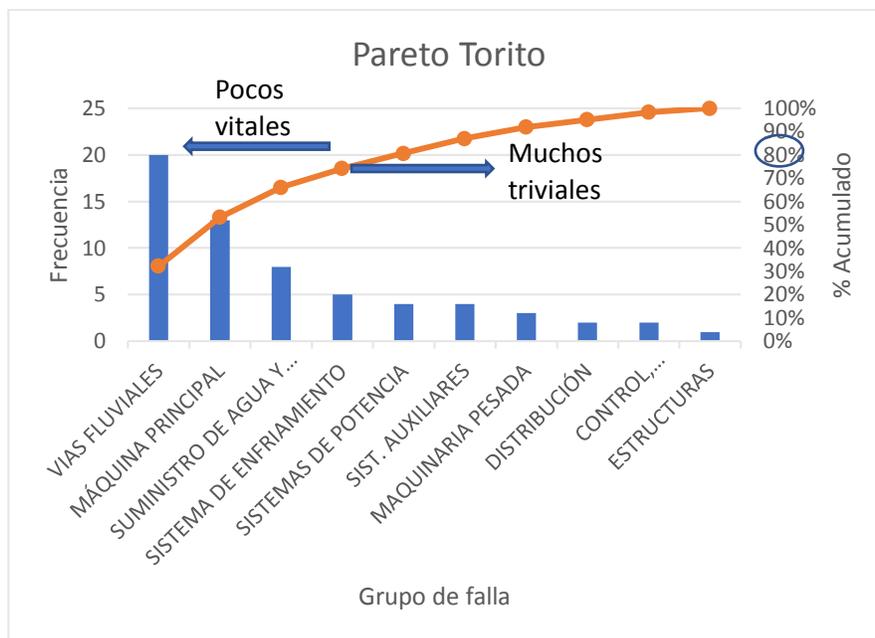


Gráfico 6.1. Pareto Torito
Fuente: Elaboración propia

El Gráfico 6.1. Pareto Torito muestra la distribución de los grupos de falla, según la frecuencia de actividades correctivas llevadas a cabo así como el porcentaje acumulado que cada grupo representa para el total de acciones.

Por medio del gráfico se separan los elementos Pocos Vitales, los cuales representan el mayor consumo de recursos y acciones empleadas en la planta Torito.

Tabla 6.2. Elementos Pocos Vitales Torito

Grupo de Falla	Frecuencia
VIAS FLUVIALES	20
MÁQUINA PRINCIPAL	13
SUMINISTRO DE AGUA Y DRENAJE	8
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	5

Fuente: Extracción de Tabla 6.1.

6.2 Pareto La Joya

Al igual como se realizó para la extracción de datos de la planta de Torito, para La Joya se tomaron aquellos provenientes de las OT realizadas desde enero 2017, escogiendo solamente las de carácter correctivo. Para el caso especial de la planta La Joya la codificación es propia y diferente a la KKS empleada en Torito. (Ver Anexo 6. Codificación La Joya).

La **Tabla 6.3.** Grupos de falla La Joya muestra el resultado de la recopilación de trabajos correctivos realizados en La Joya en un periodo de 18 meses. Se reflejan trabajos en 7 de las 12 áreas totales. Se observa un total de 35 actividades realizadas, lo que se transforma en un promedio de 1,9 actividades al mes.

Tabla 6.3. Grupos de falla La Joya

Grupo de Falla	Frecuencia	Frecuencia acumulada	% del total	% acumulado del total
GRUPO PRINCIPAL	12	12	34%	34%
SISTEMAS COMUNES	10	22	29%	63%
SISTEMAS GENERALES	8	30	23%	86%
TANQUE DE CABECERA	2	32	6%	91%
CÁMARA DE CARGA	1	33	3%	94%
SUBESTACIÓN	1	34	3%	97%
SUBESTACIÓN 1	1	35	3%	100%
Total	35	35	100%	

Fuente: Elaboración propia

El Gráfico 6.2. Pareto La Joya enseña los 2 elementos pocos vitales de la planta La Joya con su respectiva distribución porcentual.

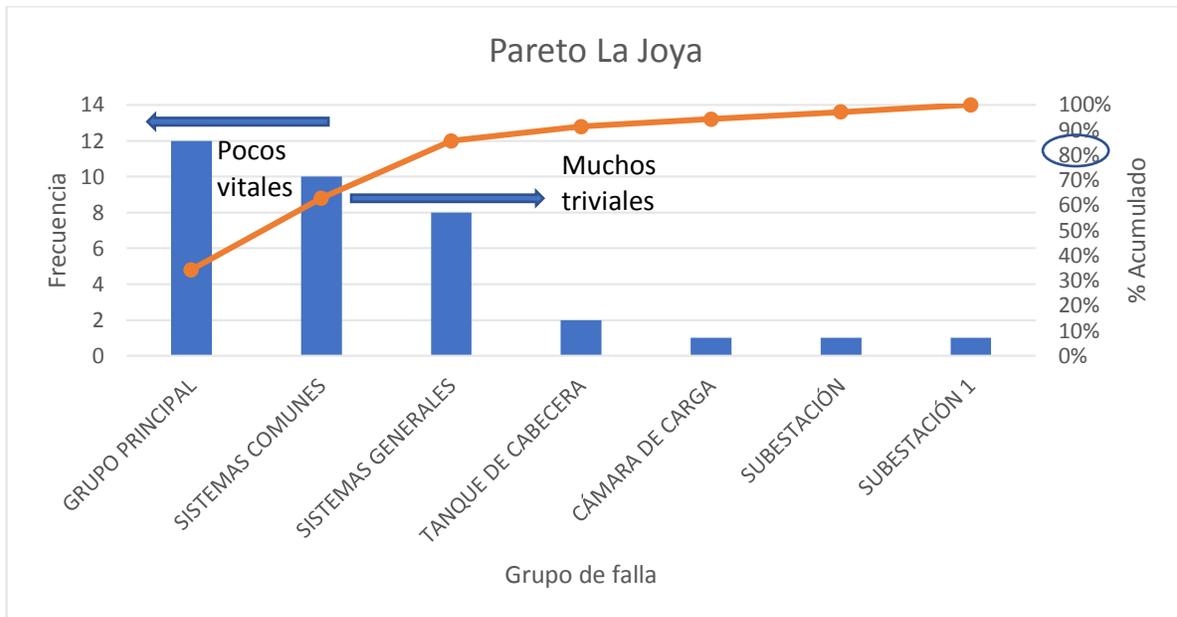


Gráfico 6.2. Pareto La Joya
Fuente: Elaboración propia.

Del gráfico se separan los elementos mostrados en la **Tabla 6.4.** Elementos Pocos Vitales La Joya, donde se muestran los elementos de mayor impacto.

Tabla 6.4. Elementos Pocos Vitales La Joya

Grupo de Falla	Frecuencia
GRUPO PRINCIPAL	12
SISTEMAS COMUNES	10

Fuente: Extracción de Tabla 6.3.

6.3 Análisis de Pareto

Por medio de los diagramas de Pareto aplicados al estudio de ambas plantas se logra la deducción de los elementos que deben ser mejor atacados durante el desarrollo de los planes de mantenimiento, ya que se refleja en los datos que estos son los que causan mayores incidencias de tipo correctivos.

Se realizó la clasificación de los datos resultantes de cada Pareto para extraer de cada bloque los elementos causantes de la mayor cantidad de intervenciones.

6.3.1 Análisis Torito

Los resultados del Pareto aplicados a la planta Torito evidenciaron como elementos pocos vitales a cuatro grupos principales, los cuales se tabularon en la **Tabla 6.2.** Elementos Pocos Vitales Torito

Para realizar un análisis más profundo de las causas de falla se desglosa cada grupo en sus respectivas subdivisiones llamadas OM (Objeto de Mantenimiento), según la codificación interna. Asimismo, se resalta en cada tabla cuáles de estas subdivisiones presentan mayores acciones correctivas.

Tabla 6.5. OM Vías Fluviales

VIAS FLUVIALES	EVENTOS
EMBALSES DE AGUA	10
CANAL DE DESCARGA	6
SISTEMA DE ADMISIÓN	4
TOTAL	20

Fuente: Elaboración propia

Dentro de lo que respecta a las vías fluviales, aspecto que más impacta el mantenimiento correctivo de Torito, los embalses de agua y el canal de descarga son los elementos que presentan la mayoría de acciones de mantenimiento. Gran parte tiene que ver con las compuertas y el grupo oleo hidráulico relacionado a estas; sin embargo, al revisar el plan de mantenimiento de Torito no se encuentran acciones planificadas que contrarresten la aplicación continua del correctivo. Se encontraron solamente acciones relacionadas a la inspección de polipasto y a la revisión de I&C de los componentes.

Tabla 6.6. OM Máquina Principal

MÁQUINA PRINCIPAL	EVENTOS
VÁLVULA DE GUARDIA	3
COJINETES GENERADOR	3
COJINETES	3
TURBINA	2
SISTEMA DE ACEITE DE REGULACIÓN	2
TOTAL	13

Fuente: Elaboración propia

La máquina principal es el elemento más crítico dentro de la planta, ya que esto envuelve los dos generadores Francis verticales, los cuales son la fuente de producción principal. Además, la disponibilidad depende directamente del correcto funcionamiento de estos conjuntos de turbina y generador.

Se hallaron intervenciones de mantenimiento principalmente en 3 elementos de la máquina principal, detallados en la **Tabla 6.6.** OM Máquina Principal Dentro de esta área se encuentra que el plan preventivo posee rutinas tanto de inspección como chequeo del funcionamiento de los elementos pero dado que los problemas presentados se derivan de fugas de aceites y fallas en empaquetaduras y orings, por lo que sería recomendable incluir dentro de las actividades la revisión y valoración de estos en cuanto a vida útil, horas de trabajo desde última instalación, cantidad de aperturas para revisión y calidad de materiales de fabricación.

Tabla 6.7. OM Suministro de Agua y Drenaje

SUMINISTRO DE AGUA Y DRENAJE	EVENTOS
DRENAJE	5
AGUA POTABLE	2
SIST. DE TRATAMIENTO	1
TOTAL	8

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al suministro de agua y drenaje, esta última es la parte principal por tratar, ya que la planta se libró de la potabilización y otros detalles de abastecimiento al recibir el servicio desde el acueducto de la zona. Además, es frecuente que se deban estar interviniendo por lo que sería recomendable generar OT periódicas dedicadas a la inspección mecánica de las bombas, ya que los planes se centran más en el aspecto de instrumentación y control, también generar una periodicidad con la cual sea necesaria la extracción de sedimentos del foso de drenaje.

Tabla 6.8. OM Sistema de Enfriamiento

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	EVENTOS
CIRCUITO CERRADO DE AGUA	5
TOTAL	5

Fuente: Elaboración propia

El enfriamiento de las unidades se realiza mediante un sistema cerrado de agua que es bombeado por tres motobombas, dos de funcionamiento permanente y una de respaldo. Las actividades más frecuentes realizadas por Mantenimiento se encuentran las reparaciones de estas motobombas por lo que deben incluirse los datos de cambios de sellos y revisiones generales de las bombas dentro de los planes de mantenimiento rutinario para evitar fugas constantes de agua que generan suciedad y aguas estancadas.

6.3.2 Análisis La Joya

El análisis de Pareto de La Joya resultó con dos áreas principales de atención en mantenimiento, detalladas en la **Tabla 6.4**. Elementos Pocos Vitales La Joya Se unieron los GRUPO 1, GRUPO 2 y GRUPO 3 como un solo GRUPO PRINCIPAL, ya que estos son referentes a las unidades de generación, sistemas de mayor criticidad dentro de la planta.

Tabla 6.9. OM Grupo Principal

GRUPO PRINCIPAL	EVENTOS
Sistema de turbina	5
Sistemas generador	2
Sistema refrigeración de grupo	2
Sistema control de grupo	1
Grupo oleo hidráulico	1
Válvula de guardia	1
TOTAL	12

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 6.9**. OM Grupo Principalse resaltan en amarillo los elementos que presentan mayor cantidad de intervenciones. En cuanto al sistema de turbina, la causa principal se debe al cambio de las juntas de eje de turbina, las cuales se compraban al fabricante, pero su duración y calidad no era óptima. Asimismo, parte de las actividades llevadas a cabo se relacionan con la parte de instrumentación y control y para esto se debe tomar en cuenta que la planta posee 12 años en operación y muchos elementos van sobrepasando su vida útil.

Tabla 6.10. OM Sistemas Comunes

SISTEMAS COMUNES	EVENTOS
Sistema de refrigeración circuito primario	3
Sistema drenaje y vaciado	3
Manejo de cargas	1
Sistema contra incendios casa de máquinas	1
Sistema auxiliar corriente continua	1
Sistema aire comprimido general	1
TOTAL	10

Fuente: Elaboración propia

Dentro de los sistemas comunes, los dos aspectos más relevantes se relacionan con el mantenimiento tanto eléctrico como mecánico de las bombas. Tal y como pasa en los grupos principales, se tienen elementos de mando y control que ya sobrepasaron su vida útil o no se tiene dato exacto de su tiempo óptimo de servicio y, al igual en los elementos mecánicos como sellos y orings, no se lleva el control adecuado de instalación y tiempo estimado de vida útil para su reemplazo previendo un posible fallo.

7 Modelo de Gestión de Mantenimiento Propuesto

Para la propuesta del Modelo de Gestión de mantenimiento de las plantas de GPG Costa Rica se utilizó como base el modelo propuesto por Parra y Crespo en su libro *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la Gestión de Activos*(2012) en el que se establece un modelo basado en 8 fases de aplicación cerradas en un bucle cíclico. Además, se refuerza mediante el modelo utilizado en el artículo *Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo*(2011) que presenta un desarrollo prácticamente igual al de las 8 fases, con la variante de que el mejoramiento continuo no se toma como fase sino como un supuesto implícito en el flujo del modelo.

Desarrollar el Modelo de Gestión consta de 8 etapas o fases, las cuales deben ser constantemente mejoradas y evaluadas conforme el ciclo de acción se va cumpliendo; es muy importante la documentación y el análisis histórico de todas las actividades de mantenimiento que realiza la empresa, desde las acciones correctivas hasta las reuniones de planificación y formación. Todos estos aspectos tienen su aporte valioso para el adecuado desarrollo del modelo y su puesta en marcha.

La Figura 7.1. Modelo de Gestión Propuesto propone el Modelo de Gestión a seguir por los departamentos de Operación y de Mantenimiento para su desempeño en las plantas de Torito y La Joya. Seguidamente, se explica el desarrollo de cada una de sus fases y su metodología de implementación según las necesidades, capacidades y recursos que se poseen.

La base de la propuesta es el concepto de la mejora continua, ya que este aspecto es lo que convierte el modelo en un ente cambiante y de fácil adaptación. También, garantizar que será evaluado y puesto a prueba constantemente.

Modelo de Gestión de Mantenimiento de GPG Costa Rica

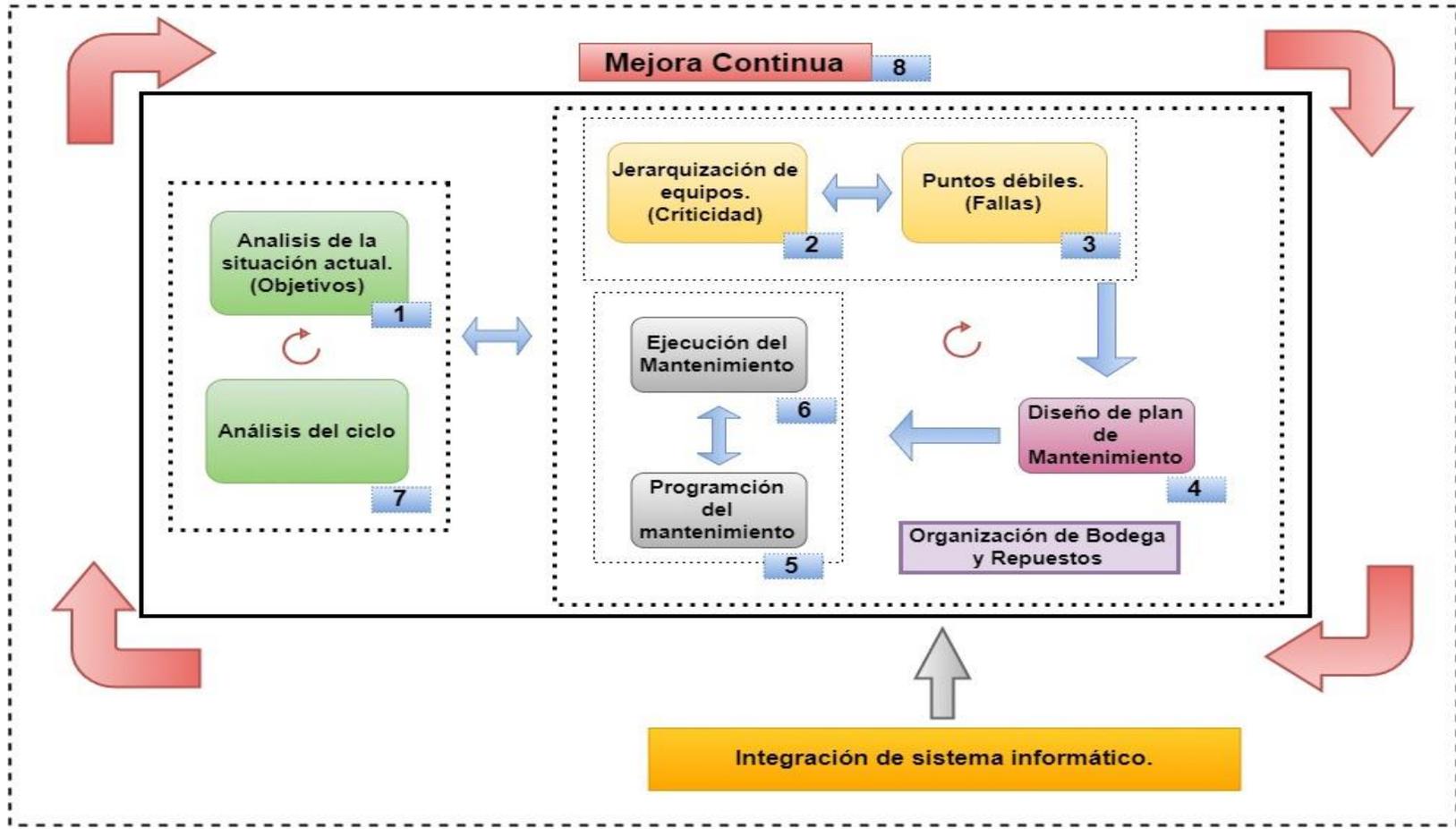


Figura 7.1. Modelo de Gestión Propuesto
Fuente: Elaboración propia.

Un aspecto importante para la implementación del Modelo es la integración del software en las fases del modelo de gestión, ya que es una herramienta que aporta versatilidad en el manejo de los datos.

7.1 Fase 1. Análisis de la situación actual

La primera fase del modelo de gestión, además de establecer los objetivos y las estrategias que se utilizarán, es donde se debe realizar un estudio del estado actual de la empresa. Es indispensable realizarlo en cada inicio del ciclo del modelo de gestión, es decir que la empresa debe autoanalizarse para incorporar nuevas metas y mejoras al plan de gestión.

Dentro de la metodología de análisis de la situación actual se deben utilizar auditorias de mantenimiento para evaluar el avance que tiene la organización en cada ciclo cumplido del plan de gestión. Asimismo, analizar continuamente el impacto generado por los indicadores y la fiabilidad de los datos recolectados.

7.2 Fase 2. Jerarquización de Equipos

La segunda fase consta de la selección de los equipos, según su impacto. La jerarquización de estos puede realizarse de acuerdo con los aspectos que se consideren como de mayor peso dentro de la organización, ya sea por impacto a la producción o al medio ambiente, peligrosidad para los operarios, entre otras. El Modelo no se sujeta a un criterio único de jerarquización, este es dependiente de las circunstancias y de las necesidades de la organización conforme se le aplican las mejoras al plan. Simplemente se enfatiza en la importancia de esta fase de no pretender atacarse todos los activos a la vez, ya que esto genera una imposibilidad planificada de accionar.

7.3 Fase 3. Puntos Débiles

Como se muestra en el diagrama del modelo de gestión, la fase 3 es directa y bidireccionalmente vinculante a la fase 2, ya que los puntos débiles de los equipos deben analizarse para aquellos o, en sentido contrario, podría considerarse crítico aquel al que se le han detectado muchas fallas.

Dentro de las condiciones generales de esta fase se tiene la importancia de la toma de datos y la tabulación continua de los indicadores, ya que serán el medio idóneo para la nueva toma de decisiones en cuanto a los equipos o sistemas que se deben ir atacando con mayor énfasis dentro del plan de gestión.

7.4 Fase 4. Diseño del plan de mantenimiento

El diseño del plan de mantenimiento es, por mucho, una de las fases más importantes del plan de gestión, ya que es en este punto donde se toman las decisiones sobre el accionar y la forma de intervención de cada uno de los elementos críticos. La propuesta debe someterse a un proceso de mejora continua, evaluarse mediante la implementación de los indicadores, pues estos dirán su efectividad a un elemento. El proceso de cambio de los planes es constante, cada vez que se aplica el mantenimiento es necesario inspeccionar su ejecución y anotar los cambios necesarios o posibles mejoras encontradas para lograr la evolución de las acciones de mantenimiento, siempre en un sentido de mejora en pro del departamento y los objetos de mantenimiento.

7.5 Fase 5. Programación del mantenimiento

La fase de programación es una dependencia del diseño y la modificación de los planes de mantenimiento. La coordinación de estas actividades se realiza según la necesidad de intervención del equipo y esto depende de factores como las horas de trabajo continuo, la exposición a condiciones de deterioro, la cantidad de arranques y paradas (en caso de motores y otros elementos similares), así como de la posibilidad de afectar la disponibilidad de producción. Por este motivo, no existe una regla general para determinar la programación del mantenimiento, pero se puede hacer uso de los manuales de los equipos, los cuales muestran una condición inicial para los periodos de su intervención. Así, también, la expertíz acumulada de los colaboradores es un elemento importante por tomar en cuenta al momento de la planificación. Al igual que las fases anteriores, la programación está sujeta a continuas modificaciones siempre en miras de mejorar los procedimientos de mantenimiento.

7.6 Fase 6. Ejecución del mantenimiento

La fase de ejecución es meramente práctica, se llevan a cabo las actividades de mantenimiento planeadas. El proceder dentro de la empresa se mantiene, se planifican los tiempos, se generan las OT asignadas para cada tarea, junto con el respectivo permiso de trabajo, de ser necesario. La asignación de las tareas se realiza según el campo de acción, ya sea al Departamento Eléctrico o al Mecánico.

Es aquí en donde se ve la mayor necesidad del accionar de la bodega de repuestos, ya que es vital que exista un intercambio de información con la oficina de mantenimiento para asegurar la disponibilidad tanto de herramienta como de insumos y repuestos necesarios. Esta tarea se asignó dentro de las funciones de la oficina de mantenimiento, ya que al realizar la planificación de las acciones debe también gestionar y coordinar cuáles son los requerimientos en cuanto a insumos, herramientas y repuestos que se necesitan para cada actividad.

Dentro de la ejecución no solamente se involucra la acción de realizar el mantenimiento, también está lo que respecta a la documentación de las actividades en cuanto a manejo de tiempos y costos, así como la toma de datos necesaria para completar las hojas de registro que deben estar anexadas a las órdenes de trabajo, estas últimas muy importantes para el análisis de los equipos.

Fase 7. Análisis del Ciclo

Se determina el impacto que generaron las actividades de mantenimiento realizadas sobre los objetos. Esto mediante el análisis del estado en el que se encontró el equipo versus las condiciones finales luego del trabajo. Esta fase no solamente aplica para después de realizadas las acciones de mantenimiento, ya que, por ejemplo, si durante una inspección se encuentra una falla o un aspecto que deba ser modificado ese es el momento idóneo para implementar y documentar cualquier variante.

Para el análisis del plan existente, la acción que se debe implementar es la recolección de datos de las hojas de registro de las actividades de mantenimiento, ya que estos datos son el reflejo del estado de los equipos. Además, con base en los datos que se recolecten se toman decisiones en torno a la necesidad de adquirir repuestos, modificar tiempos y acciones del plan, o bien si existe la necesidad de remplazar algún equipo.

Fase 8: Mejora Continua

La mejora continua del plan, más que una fase es un compromiso que se debe aplicar en la totalidad de las fases del plan de gestión de mantenimiento. Es por esa razón que engloba a todas las 7 fases restantes. Conforme se avanza en cada una de las etapas van surgiendo aspectos que se pueden ir modificando y mejorando y por eso en cada inicio del plan o en cada evaluación de actividades siempre se debe autoevaluarse con el fin de que este siempre mejore en pro de la organización.

8 Implementación del Modelo de Gestión

Para conseguir la adecuada implementación de un modelo de gestión de mantenimiento no basta solamente con proponerlo, es un compromiso que la organización adquiere alcanzar un proceso de mejora continua. Asimismo, es un proceso de transformación de la cultura laboral de los colaboradores, quienes influenciados por sus superiores deben adoptar los cambios como un proceso de aprendizaje y de mejora no solo para la empresa, sino para su propio beneficio.

Dentro del desarrollo del proyecto fue posible la implementación de las 5 primeras fases, dando inicio al primer ciclo del modelo y dejando las bases para su aprovechamiento.

8.1 Fase 1. Objetivos y Estrategias

Se inició con la aplicación de la auditoría de mantenimiento MES, paso esencial para conocer el estado real del Departamento de Mantenimiento en cualquier empresa. En el apartado 4 se muestra en detalle la aplicación de la auditoría MES y los resultados que arrojó con respecto a las 5 áreas que evalúa.

Para que el modelo de gestión sea factible y tenga efectividad de aplicación deben ponerse en práctica las recomendaciones generadas a partir de la evaluación de la auditoría, como parte del proceso de mejora continua del Departamento.

8.1.1 Mejoras de la auditoría MES

En el diagrama de la Figura 4.2. Diagrama Ishikawa, mejoras del Departamento de Mantenimiento se muestran los puntos necesarios a tratar por área del mantenimiento para elevar la calificación de la auditoría. Los aspectos con mayor necesidad de mejoras son el de Gerencia de la Información y el de Soporte, Calidad y Motivación por lo que se generaron las siguientes actividades buscando mejorar el desempeño del Departamento en estas áreas.

La **Tabla 8.1.** Iniciativas de mejora propuestas presenta las acciones que se recomiendan realizar para mejorar la calidad del Departamento de Mantenimiento. Se desarrollan las dos áreas más vulnerables, ya que deben ser las de atención más inmediata.

Tabla 8.1. Iniciativas de mejora propuestas

Área	Iniciativa	Acciones
Gerencia de la Información	Registro de fallas y repuestos	Dar seguimiento y continuidad al registro de repuestos en el sistema APIPRO 9, asociándolo a las fallas y a sus respectivos objetos de mantenimiento
	Seguimiento de costos	Registrar los costos reales, tanto de repuestos como de mano de obra empleada en las actividades de mantenimiento. (El sistema APIPRO 9 tiene la capacidad de registro de costos).
	Registro de tiempos	Coordinar con los montadores, mecánico y eléctrico, para que la carga de horas en el sistema sea lo más ajustado a la realidad posible, con el fin de que los datos recopilados sean cada vez más veraces y de mayor aprovechamiento.
Soporte, Calidad y Motivación.	Planificar materiales y repuestos	Crear una cultura de orden y planificación dentro del equipo de mantenimiento, cada área debe ser consiente de los materiales, repuestos y herramientas que se necesitan para determinados trabajos, por lo que deben estar enlistados, chequeados y disponibles antes de iniciar un procedimiento.
	Verificar la calidad del mantenimiento	Cada montador debe verificar minuciosamente el trabajo de sus subalternos, con el fin de que los procedimientos se realicen de la mejor manera. Además, se deben revisar con mayor detalle los trabajos y piezas que deban realizarse por medio de terceros, para evitar sobre trabajos y fallas que puedan desencadenar.
	Motivar e incentivar	Buscar soluciones efectivas y en el menor tiempo posible a las peticiones de los colaboradores. Es importante que las quejas no se queden solamente en las reuniones, sino que se les busque solución pronta, reflejando el interés de la jefatura por el bien estar del personal.

Fuente: Elaboración propia.

8.1.2 Estructura Organizacional Propuesta

En el apartado 3 se realizó un estudio del estado actual de la empresa en aspectos como estructura organizacional, estado del mantenimiento y los indicadores utilizados. La finalidad es conocer las herramientas con las que ya cuenta la empresa para el modelo de gestión.

Como ya se estudió en el apartado 3, la estructura organizacional presente es de tipo cascada con presencia de subgrupos de trabajo. Se valoró su actuar mediante la supervisión de las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo que se presentaron en el periodo observando detalles presentados, como la forma de planificar las acciones, la organización de las actividades, el aprovechamiento de los recursos disponibles y los tiempos de respuesta. Se concluyó que la estructura en su base esencial no debería sufrir mayores modificaciones. Ahora bien, si es necesario que se realice una integración más profunda del papel del encargado de bodega como miembro importante del grupo de mantenimiento, ya que uno de los costes más significativos del Departamento de Mantenimiento lo constituye el consumo de repuestos (Parra & Crespo, 2012), añadido a los insumos necesarios para la realización de las actividades de mantenimiento.

Dentro de las necesidades encontradas en la estructura organizacional debe valorarse por parte de la empresa la opción de agregar un puesto encargado de planificar y organizar las tareas de mantenimiento. El Jefe de Operación y de Mantenimiento posee una recarga laboral en cuanto a aspectos generales de operación, trato con contratistas, atención de fallos, evaluación de costos de trabajos, representación de la empresa, manejo del personal, planificación del mantenimiento y ejecución de las actividades entre otras cosas. Es por esta razón que se sugiere un encargado de los aspectos de coordinación del mantenimiento, de manejo de la logística de la planificación de repuestos, insumos, herramientas y tiempos en conjunto con bodega y los departamentos de mecánicos y eléctricos. También, se encargaría de la retroalimentación y mejora de los planes de dándole

uso interpretativo a los indicadores y a las acciones de mantenimiento que se ejecutan, todo con el fin de buscar el mejoramiento continuo del plan de gestión de mantenimiento.

En la Figura 8.1. Estructura Organizacional departamento de Mantenimiento se presenta la estructura de GPG con el adicional del puesto de Planificación y Coordinación (Oficina de Mantenimiento) recomendado para la organización del Departamento.

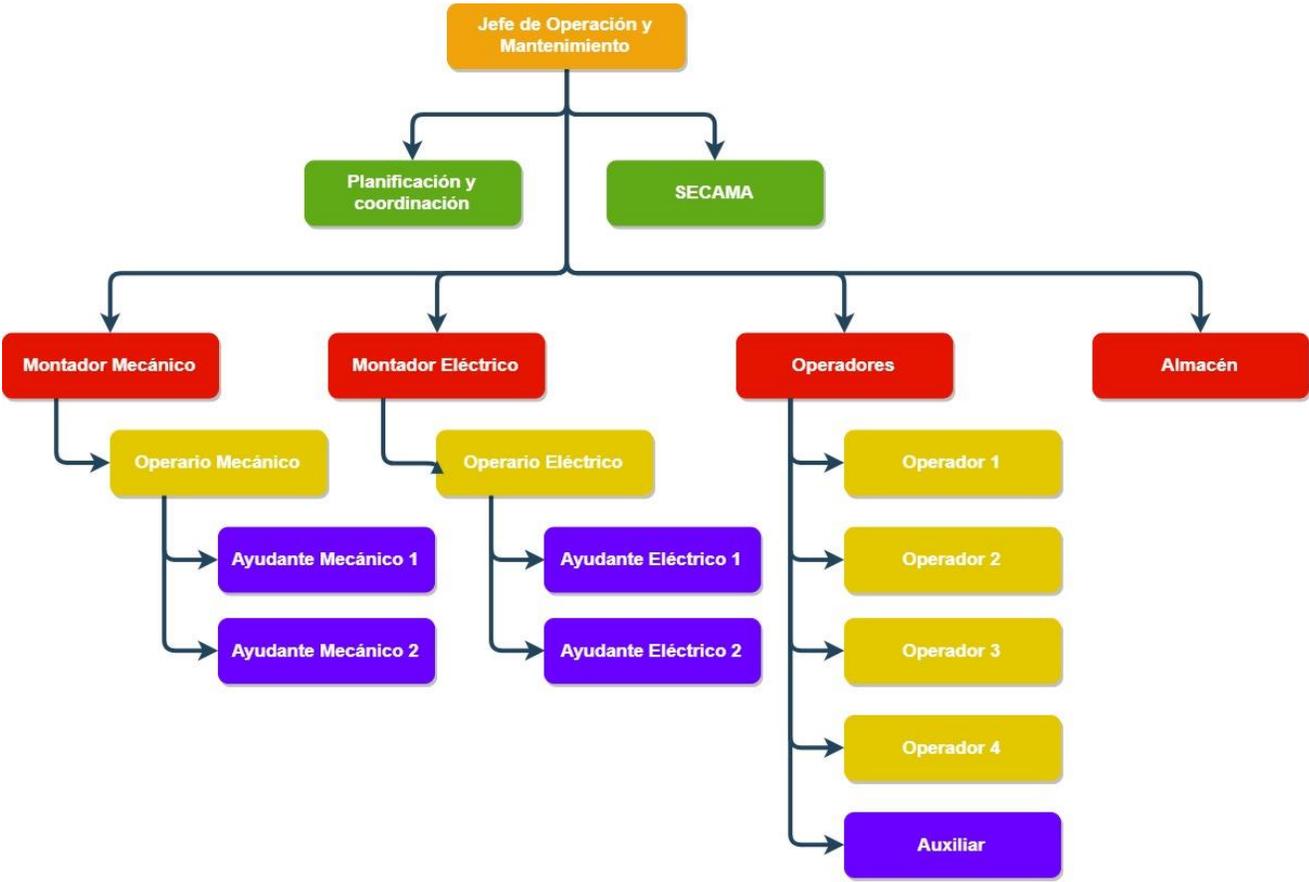


Figura 8.1. Estructura Organizacional departamento de Mantenimiento
Fuente: Elaboración propia.

8.1.2.1 Planificación y Coordinación (Oficina de Mantenimiento)

Puesto de ingeniería en mantenimiento, electromecánica, mecánica o eléctrica, con conocimientos en administración de mantenimiento, planificación y ejecución de planes de mantenimiento.

➤ Funciones

- Planificación de los programas de mantenimiento.
- Asistencia en la ejecución y control del mantenimiento.
- Evaluación mediante el manejo de los indicadores de los planes preventivos.
- Coordinación de las actividades de mantenimiento con mecánicos y eléctricos.
- Coordinación de insumos, herramientas y repuestos necesarios para llevar a cabo las actividades.
- Retroalimentación y autoevaluación de los planes de mantenimiento en busca de posibles mejoras.
- Aplicación y mejoramiento continuo del plan de gestión de mantenimiento.

8.1.2.2 Costo de cambios en la estructura organizacional

Dentro de las reformas sugeridas al organigrama de la empresa, el puesto de bodeguero no genera inversión extra, pues ya existe, solamente se deben adecuar sus funciones al plan de gestión. Por otra parte, en la

Tabla 8.2. Costo de implementación se presenta el costo de contratación para el puesto de encargado de la oficina de mantenimiento, puesto necesario para la ejecución y mejora continua del plan de gestión de mantenimiento.

Tabla 8.2. Costo de implementación

Puesto	Salario Mínimo *	Cargas sociales	Costo Total Mensual
Encargado de Oficina de Mantenimiento	644 689.30	290 110.185	¢934 799.49

Fuente: Elaboración propia.

* Extraído de la lista oficial de salarios sector privado del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social

8.1.3 Enfoque del Departamento de Mantenimiento

El Departamento de Mantenimiento debe estructurar sus bases y principios de funcionamiento para iniciar con un adecuado plan de gestión. Es importante que todos sus miembros conozcan la finalidad por la que trabajan y los objetivos y metas que los mueven.

El rumbo del Departamento, en este caso, está relacionado con la disponibilidad de las unidades de generación, que son la fuente total de producción de las plantas. De esta forma se determina que la línea de acción de mantenimiento enfoca la mayor parte de sus acciones a estos elementos.

Una oficina bien organizada y estructurada comienza por definirse a sí mismo. Mediante la definición de sus metas y objetivos.

8.1.3.1 Misión del Departamento de Mantenimiento

Garantizarle a GPG Costa Rica la disponibilidad y confiabilidad de los equipos de generación de las plantas hidroeléctricas de Torito y La Joya, mediante la aplicación oportuna y de calidad de las prácticas de mantenimiento.

8.1.3.2 Visión del Departamento de Mantenimiento

Ser un departamento en constante evolución que genere confianza y valor agregado a los objetivos y metas de la empresa.

8.1.3.3 Objetivos del Departamento de Mantenimiento

- Maximizar la disponibilidad y confiabilidad de las unidades de generación de las plantas para garantizar el proceso productivo de la empresa.
- Implementar y mejorar continuamente el plan de gestión mediante el estudio y la autoevaluación de los procedimientos aplicados.
- Asegurar la disposición y funcionamiento de los sistemas generales y edificaciones por medio de su continuo monitoreo y mantenimiento.
- Cumplir con el desarrollo y aplicación de los objetivos anuales propuestos para la evaluación de la empresa.

8.1.4 Manejo de Indicadores

Como parte de la estrategia a emplear por parte del Departamento está la aplicación y control de los indicadores de mantenimiento, los cuales le ayudan a la organización a conocer el estado y la efectividad de las actividades de mantenimiento aplicadas.

En el apartado 3 se detallaron los indicadores utilizados por la empresa, los cuales tienen su origen en la solicitud de la empresa madre de llevar un control de las actividades que realiza el Departamento. Tal es el caso de los informes anuales y mensuales de órdenes de trabajo realizadas, ejecutadas y cerradas, por este motivo es necesario que su implementación se mantenga vigente y se lleve su control de la mejor forma posible. Además, el control de las órdenes de trabajo contribuye a la implementación y el registro de nuevos indicadores a nivel interno.

Es importante que la oficina, además de manejar los indicadores de control externo que son los solicitados por Gas Natural Fenosa desde España, maneje indicadores de control interno, los cuales sirven para evaluar y retroalimentar su trabajo y el desarrollo de las acciones que se realizan.

Como punto de partida para la implementación del plan de gestión se analizaron los siguientes indicadores, relacionados con el control y mejoramiento continuo del plan.

8.1.4.1 Tasa de Mantenimiento Preventivo

Este indicador se refiere al tiempo dedicado al mantenimiento preventivo con respecto al total de tiempo invertido a sus otros tipos, se maneja de forma porcentual.

Se utilizará como medidor de la aplicación del mantenimiento preventivo versus el correctivo, además genera datos para el análisis de los costos variables generados por la aplicación de correctivo y establecer parámetros para estimar su reducción.

$$TMP = \frac{\text{Horas de MP}}{\text{Horas totales de M}} \times 100$$

Ecuación 8.1.

M: Mantenimiento

MP: Mantenimiento Preventivo

Lo versátil de esta tasa es que se puede aplicar de igual manera para el tipo correctivo y el predictivo, pues con esto se genera la posibilidad de parámetros de comparación entre los tipos de mantenimiento.

Para la recolección de datos de este indicador se cuenta con la clasificación que se realiza en la elaboración de las órdenes de trabajo generadas por APIPRO 9, añadido a esto se cuenta con la base de datos que se encarga de almacenar el historial de las órdenes.

8.1.4.2 Disponibilidad

Como ya se definió en el Marco Teórico, la disponibilidad indica la probabilidad de que el equipo cumpla adecuadamente su función. En este caso, se tomará como el tiempo en que las unidades de generación se encontraron en condición óptima de producción.

Este dato ya era registrado por el Departamento de Operación para las evaluaciones y la generación de los presupuestos operativos de la planta. Entonces, se empleará por el de Mantenimiento como un indicador interno que se evaluó la efectividad de las tareas de mantenimiento realizadas.

Se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$Disponibilidad = \frac{T_{operación} - T_{paro}}{T_{operación}} * 100$$

Ecuación 8.2.

T: Tiempo.

Para el cálculo del indicador se utiliza el registro de horas de operación y horas de parada de las unidades por indisponibilidad.

8.1.4.3 Tiempo medio entre fallas (TMBF)

Este es el tiempo promedio entre la frecuencia de ocurrencia de fallas, medido desde el momento en que se detona una falla y el tiempo que dura en presentarse otra. Su aplicación es importante para conocer la efectividad de los planes de mantenimiento por lo que a menor TMBF mayor será la efectividad del plan preventivo.

Se maneja mediante la fórmula:

$$TMBF = \frac{\textit{Tiempo total de funcionamiento}}{\textit{Número de fallas}}$$

Ecuación 8.3.

El registro de la toma de datos se maneja mediante el historial de horas trabajadas por la máquina, horas en disponibilidad y la cantidad de paradas que se presentan, todo almacenado en la base de datos.

8.2 Fase 2. Selección de Equipos Críticos

Para la selección se hará uso de las codificaciones de los sistemas de cada una de las plantas, y basado en estas se clasifican los equipos para su selección.

Se clasifican según 3 aspectos: impacto en la producción, posible daño al medio ambiente y peligro para la seguridad laboral. Todos basados en el impacto de una falla del equipo.

8.2.1 Metodología de análisis de la matriz de criticidad

Para el análisis de criticidad, primeramente, se definen los niveles donde se evalúa el impacto de las fallas. Utilizando el sistema de codificación de cada planta y de la misma forma que se realiza para el análisis de Pareto, se utilizan los objetos de mantenimiento extraídos de cada grupo principal de la codificación.

El impacto o consecuencia de falla sobre cada objeto de mantenimiento se define mediante 3 parámetros escogidos según su importancia dentro del entorno y funcionamiento de la planta.

8.2.1.1 Disponibilidad

Para la empresa es vital la disponibilidad de las unidades de generación para la producción. Razón por la que se acogió este parámetro como importante para evaluar la importancia y relevancia de los equipos.

Tabla 8.3. Impacto en la disponibilidad

Criterio	Impacto en la disponibilidad		
Clasificación	Paro inmediato	Posible paro	No afecta
Valor Asignado	5	3	1

Fuente: Elaboración propia.

En la **Tabla 8.3.** Impacto en la disponibilidad se clasifica la disponibilidad en tres posibles efectos, cada uno de estos con un valor numérico asignado el cual se utiliza en el cálculo de la criticidad de la matriz.

8.2.1.2 Medio Ambiente

El impacto generado al medio ambiente es un detalle que hoy en día toda empresa debe minimizar o en su medida eliminar y por ello se establece como un factor para evaluar que tan crítico puede ser el efecto de una falla en un objeto de mantenimiento con el fin de no producir impactos negativos en el ambiente.

La **Tabla 8.4.** Daño al Ambiente muestra la clasificación y el valor numérico que se le asigna a este factor.

Tabla 8.4. Daño al Ambiente

Criterio	Daño al ambiente		
Clasificación	Severo	Leve	No afecta
Valor Asignado	5	3	1

Fuente: Elaboración propia.

8.2.1.3 Seguridad Laboral.

Dentro de GPG Costa Rica la seguridad laboral es un aspecto importante al punto que se le da carácter prioritario, tanto al momento de realizar tareas de mantenimiento como al contratarle tareas a terceros. Es trascendental evaluar y conocer si las fallas en algún objeto de mantenimiento podrían causar lesión o la muerte, no solo en personal, también a terceras personas.

Se muestra en la **Tabla 8.5.** Seguridad la clasificación de seguridad con su respectivo valor asignado para evaluar la criticidad.

Tabla 8.5. Seguridad

Criterio	Seguridad		
Clasificación	Riesgo de muerte	Lesión/Incapacidad	No afecta
Valor Asignado	5	3	1

Fuente: Elaboración propia.

8.2.1.4 Frecuencia

La estimación de la frecuencia viene relacionada con la cantidad de intervenciones realizadas a un objeto en un tiempo determinado. Para el estudio de criticidad se utiliza la periodicidad de ocurrencia de estas sobre cada objeto, también para el análisis de Pareto, donde se determinan los elementos con mayor cantidad de intervenciones, la cual se aplica para la matriz de criticidad.

Tabla 8.6. Valor de Frecuencia de falla

Frecuencia de acciones	0	1	2	3	4 o más
Valor asignado	1	2	3	4	5

Fuente: Elaboración propia.

Mediante la **Tabla 8.6.** Valor de Frecuencia de falla se representan los valores que se asignan, según la cantidad de acciones de mantenimiento correctivo realizadas por objeto de mantenimiento.

8.2.1.5 Consecuencia

La ponderación de la consecuencia se realiza mediante la suma de los valores asignados a los criterios de impacto en la disponibilidad, daño al medio ambiente y la seguridad. Previamente, en se mostró la asignación de valores de cada uno de estos criterios.

Tabla 8.7. Valor de Consecuencia por falla

Consecuencia	3	5	7 y 9	11	13 y 15
Valor de consecuencia	1	2	3	4	5

Fuente: Elaboración propia.

La **Tabla 8.7.** Valor de Consecuencia por falla demuestra los valores asignados a la consecuencia evaluada para la matriz de criticidad, en la fila de consecuencia se enumeran los valores posibles de la suma de los criterios de Impacto en la disponibilidad, daño al medio ambiente y la seguridad, estos evaluados en la tabla de criticidad de objetos de mantenimiento que se presenta más adelante. Mientras tanto, en la fila de valor de consecuencia, se categoriza dicha suma en un rango de uno a 5 para poder introducirlo en la matriz.

8.2.1.6 Matriz

La matriz de criticidad es el resultado del producto entre la frecuencia de ocurrencia de una falla con la consecuencia de su ocurrencia, esta última ya desglosada anteriormente en tres aspectos.

El rango de la criticidad dentro de la matriz se clasifica en código de colores, como se muestra en la **Tabla 8.8.** Rango de Criticidad en criticidad baja, media y alta según sea el resultado del producto de la matriz.

Tabla 8.8. Rango de Criticidad

Color	Criticidad	Rango
Verde	Baja	1 a 4
Amarillo	Media	5 a 9
Rojo	Alta	10 a 25

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en el Gráfico 8.1. Matriz de criticidad propuesta se detalla la forma de la matriz formulada para la evaluación de la criticidad de los objetos de mantenimiento dentro de las plantas de La Joya y Torito.

Frecuencia	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5
		1	2	3	4	5
		Consecuencia				

Gráfico 8.1. Matriz de criticidad propuesta
Fuente: Elaboración propia.

8.2.2 Análisis de Criticidad

La criticidad se evaluó por separado para cada una de las plantas y se realizó una tabla enumerando cada uno de los tres aspectos elegidos para la medición de la consecuencia de falla junto con cada objeto de mantenimiento. Debido a que cada planta posee una codificación distinta, se empleó una tabla por planta basada en el árbol de activos de cada una.

Para garantizar la credibilidad de los resultados en el análisis de los datos se involucraron el jefe de operación y mantenimiento, el montador mecánico, el montador eléctrico y un operador. Basado en su conocimiento técnico y su

experiencia sobre el uso y mantenimiento de los equipos se pudo hacer un estudio más certero.

8.2.2.1 Matriz La Joya

En el Anexo 7. Análisis de Criticidad La Joya se amplían los resultados de la tabla utilizada para la evaluación de criticidad de la planta La Joya. Del análisis de datos se realizó la evaluación de la consecuencia de falla y se relacionó con la frecuencia de falla extraída de los datos resultantes de los Pareto realizados en el apartado 6.

La **Tabla 8.9**. Análisis de criticidad La Joya muestra la asignación de los valores de frecuencia y consecuencia aplicadas a los objetos de mantenimiento de La Joya, así como el resultado del producto de ambos y su valor para la matriz.

Tabla 8.9. Análisis de criticidad La Joya

Nº	Nombre del OM	Consecuencia	Valor de Consecuencia	Frecuencia	Valor de frecuencia	Valor de Matriz
1	Aire acondicionado y ventilación	3	1	0	1	1
2	Agua servicios generales	3	1	2	3	3
3	Caminos y accesos generales	3	1	1	2	2
4	Equipos tecnología de la información	3	1	0	1	1
5	Obras hidráulicas generales	7	3	1	2	6
6	Sistema control general	5	2	1	2	4
7	Sistema de puesta a tierra	5	2	0	1	2
8	Descarga de grupo	5	2	0	1	2
9	Sistema generador	5	2	2	3	6
10	Transformador de potencia	9	3	0	1	3
11	Sistema de excitación	7	3	0	1	3
12	Grupo oleo hidráulico	9	3	1	2	6
13	Sistema control de grupo	7	3	1	2	6
14	Sistema de turbina	7	3	5	5	15
15	Válvula de guardia	7	3	1	2	6
16	Sistema contra incendios generador	11	4	0	1	4
17	Sistema contra incendios del transformador principal	9	3	0	1	3
18	Sistemas auxiliares de grupo	5	2	0	1	2
19	Sistema de frenado	5	2	0	1	2
20	Sistema aire comprimido de grupo	5	2	0	1	2
21	Sistema refrigeración de grupo	5	2	2	3	6
22	Canal de descarga	3	1	0	1	1
23	Manejo de cargas	5	2	1	2	4
24	Sistema contra incendios casa de máquinas	3	1	1	2	2
25	Sistema BIEX – hidrantes extintores portátiles y rociadores	3	1	0	1	1

26	Sistema agua pulverizada transformadores	7	3	0	1	3
27	Sistemas comunes	5	2	0	1	2
28	Sistema auxiliar corriente continua	5	2	1	2	4
29	Sistema auxiliar corriente alterna	5	2	0	1	2
30	Grupo diésel de emergencia	3	1	0	1	1
31	Sistema corriente segura	5	2	0	1	2
32	Sistema aire comprimido general	3	1	1	2	2
33	Sistema de refrigeración circuito primario	5	2	3	4	8
34	Sistema drenaje y vaciado	5	2	3	4	8
35	Tableros de alimentación general edificios	5	2	0	1	2
36	Sistema aire acondicionado y ventilación	3	1	0	1	1
37	Tanque de cabecera	5	2	2	3	6
38	Cámara de carga	5	2	1	2	4
39	Barras 01038 KV	9	3	1	2	6
40	Posición de línea	9	3	1	2	6
41	Posición de grupo	9	3	0	1	3

Fuente: Elaboración propia.

Del resultado de la tabla anterior se genera el Gráfico 8.2. Matriz de criticidad La Joya en el cual se clasifican los objetos de mantenimiento de acuerdo con el número asignado y el resultado del producto de la matriz, como se observa a continuación.

La Joya						
Frecuencia	5			14		
	4		33, 34			
	3	2	9, 21, 37			
	2	3, 24, 32	6, 23, 28, 38	5, 12, 13, 15, 39, 40		
	1	1, 4, 22, 25, 30, 36	7, 8, 18, 19, 20, 27, 29, 31, 35	10, 11, 17, 26, 41	16	
		1	2	3	4	5
		Consecuencia				

Gráfico 8.2. Matriz de criticidad La Joya
Fuente: Elaboración propia.

De las conclusiones de la matriz de criticidad se extraen los equipos de mayor impacto dentro de la planta La Joya, seleccionados del rango medio y alto de la matriz.

En la siguiente

Tabla 8.10. Objetos de mantenimiento críticos La Joya, se clasifican los objetos de mantenimiento de mayor criticidad de La Joya, según los valores reflejados en la matriz.

Tabla 8.10. Objetos de mantenimiento críticos La Joya

La Joya		
N°	Nombre del OM	Valor de Matriz
14	Sistema de turbina	15
33	Sistema de refrigeración circuito primario	8
34	Sistema drenaje y vaciado	8
5	Obras hidráulicas generales	6
9	Sistemas generador	6
12	Grupo oleo hidráulico	6
13	Sistema control de grupo	6
15	Válvula de guardia	6
21	Sistema refrigeración de grupo	6
37	Tanque de cabecera	6
39	Barras 01038 KV	6
40	Posición de línea	6

Fuente: Elaboración propia.

8.2.2.2 Matriz Torito

Los datos para analizar de la planta Torito se clasificaron según los objetos de mantenimiento extraídos de la codificación KKS que posee esta planta. En el Anexo 8. Análisis de criticidad Torito se muestra la tabla de datos utilizada para la evaluación de la criticidad de cada objeto, la metodología aplicada es la misma con la que se evaluó la La Joya.

La **Tabla 8.11.** Análisis de criticidad Torito muestra la evaluación de la criticidad de los objetos de mantenimiento de Torito resultado del análisis realizado de los aspectos que forman la consecuencia de falla y el producto de la frecuencia encontrada en los datos de aplicación de correctivos.

Tabla 8.11. Análisis de criticidad Torito

N°	Nombre del OM	Consecuencia	Valor de Consecuencia	Frecuencia	Valor de frecuencia	Valor de Matriz
1	Subestación 230 kv	11	4	2	3	12
2	Transición de Potencia	11	4	1	2	8
3	Media Tensión	7	3	0	1	3
4	Baja Tensión	7	3	3	4	12
5	Sistema de Baterías	11	4	0	1	4
6	Corriente Directa	7	3	0	1	3
7	Protecciones	7	3	0	1	3
8	Coordinación de Unidad	3	1	1	2	2
9	Control de Procesos	3	1	1	2	2
10	Sistema de Ignición	7	3	0	1	3
11	Sistema contra Incendios	3	1	0	1	1
12	Sistema de Tratamiento	3	1	1	2	2
13	Drenaje	7	3	5	5	15
14	Agua Potable	3	1	2	3	3
15	Canal de Descarga	3	1	6	5	5
16	Embalses de Agua	5	2	10	5	10
17	Sistemas de Admisión	5	2	4	5	10
18	Turbina	7	3	2	3	9
19	Válvula de Guardia	7	3	3	4	12
20	Cojinetes	7	3	3	4	12
21	Sistema de aceite de Regulación	9	3	2	3	9
22	Sistema Generador	7	3	0	1	3
23	Sistema de excitación alternador	7	3	0	1	3
24	Cojinetes Generador	7	3	3	4	12
25	Sistema de refrigeración del generador	5	2	0	1	2
26	Sistema enfriamiento Rotor	5	2	0	1	2

27	Sistema aceite de Lubricación	5	2	0	1	2
28	Sistema circulación de agua	7	3	0	1	3
29	Circuito cerrado de agua	7	3	5	5	15
30	Compresor general de aire	5	2	0	1	2
31	Sistema contra incendios estacionario	3	1	2	3	3
32	Calefacción, ventilación	3	1	2	3	3
33	Grúa	5	2	0	1	2
34	Estructuras	3	1	1	2	2
35	Planta de Generación	3	1	3	4	4

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla de criticidad se desglosa el Gráfico 8.3. Matriz de criticidad Torito donde se enumeran los objetos de mantenimiento de acuerdo con el riesgo de criticidad evaluado mediante el producto de la frecuencia y la consecuencia de falla.

Torito						
Frecuencia	5	15	16, 17	13, 29		
	4	35		4, 19, 20, 24		
	3	14, 31, 32		18, 21	1	
	2	8, 9, 12, 34			2	
	1	11	25, 26, 27, 30, 33	3, 6, 7, 10, 22, 23, 28	5	
		1	2	3	4	5
		Consecuencia				

Gráfico 8.3. Matriz de criticidad Torito

Fuente: Elaboración propia.

Igualmente, del resultado obtenido en la matriz de criticidad se extraen los datos de los objetos de mantenimiento más críticos en la planta Torito, seleccionados del rango medio y alto. Estos resultados se muestran en la **Tabla 8.12. Objetos de mantenimiento críticos Torito**

Tabla 8.12. Objetos de mantenimiento críticos Torito

Torito		
N°	Nombre del OM	Valor de Matriz
13	Drenaje	15
29	Circuito cerrado de agua	15
1	Subestación 230 kv	12
4	Baja Tensión	12
19	Válvula de Guardia	12
20	Cojinetes	12
24	Cojinetes Generador	12
16	Embalses de Agua	10
17	Sistemas de Admisión	10
18	Turbina	9
21	Sistema de aceite de Regulación	9
2	Transición de Potencia	8
15	Canal de Descarga	5

Fuente: Elaboración propia.

8.3 Fase 3: Fallas Comunes

La fase 3 se encuentra directamente relacionada con el desarrollo y resultados de la fase 2, de hecho, dependen una de la otra en ambas direcciones, ya que con las fallas recurrentes se sacan los datos de frecuencia de falla indispensables en la matriz crítica y la matriz destaca los elementos que se deben estudiar según sus fallas.

Como ambas fases están conectadas, la metodología para la fase 3 será identificar, según los resultados del análisis de Pareto, los elementos resultantes como críticos de la matriz representan mayor impacto en cuanto número y tipo de fallas presentes.

La **Tabla 8.13**. Elementos de mayor criticidad, La Joya es el resultado del análisis de los elementos coincidentes entre la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y aquellas del análisis de Pareto la **Tabla 6.9**. OM Grupo Principal y

Tabla 6.10. OM Sistemas Comunessacando los elementos de mayor acción en los Pareto y los más críticos de la matriz.

Tabla 8.13. Elementos de mayor criticidad, La Joya

La Joya		
N°	Nombre del OM	Valor de Matriz
14	Sistema de turbina	15
33	Sistema de refrigeración circuito primario	8
34	Sistema drenaje y vaciado	8
9	Sistema generador	6
21	Sistema refrigeración de grupo	6

Fuente: Elaboración propia.

Mientras tanto el análisis realizado para la planta Torito se refleja en la **Tabla 8.14.** Elementos de mayor criticidad, Torito formada como resultado de analizar la **Tabla 8.12.** Objetos de mantenimiento críticos Toritola **Tabla 6.5.** OM Vías Fluviales **Tabla 6.6.** OM Máquina Principal**Tabla 6.7.** OM Suministro de Agua y Drenaje y **Tabla 6.8.** OM Sistema de Enfriamiento. Dando como resultado los elementos a los que se les deben dar énfasis dentro del plan de mantenimiento de la planta Torito.

Tabla 8.14. Elementos de mayor criticidad, Torito

Torito		
N°	Nombre del OM	Valor de Matriz
13	Drenaje	15
29	Circuito cerrado de agua	15
19	Válvula de Guardia	12
20	Cojinetes	12
24	Cojinetes Generador	12
16	Embalses de Agua	10
17	Sistemas de Admisión	10

Fuente: Elaboración propia.

8.4 Fase 4: Estudio del Plan de Mantenimiento

Para el caso de las oficinas de Operación y Mantenimiento, ya se cuenta con un plan de mantenimiento establecido, pero es necesario que se revise de acuerdo con las prioridades y los análisis de criticidad elaborados. Con el único fin de darle un mejor uso y sacar el mayor provecho posible a las actividades del plan.

La metodología para esta sección consta de realizar un análisis del aspecto más crítico encontrado en la fase 3 para cada una de las plantas. Buscar cada una de las ramas del Objeto de Mantenimiento, si es que las posee, y analizar las actividades de mantenimiento preventivo que se relacionan con dicho objeto.

8.4.1 Sistema de Turbina La Joya

Al analizar la **Tabla 8.13**. Elementos de mayor criticidad, La Joya se encontró que el elemento más crítico dentro de la planta es el Sistema de Turbina, lo cual se dedujo mediante la aplicación del análisis de Pareto y la matriz de criticidad. Se extraen del árbol de activos de La Joya las ramificaciones pertenecientes en el sistema de Turbina, como se muestra en la **Tabla 8.15**. Ramificación de Sistema de Turbina en donde se detallan cada uno de los elementos correspondientes al objeto de mantenimiento con su respectiva clave asociada.

Tabla 8.15. Ramificación de Sistema de Turbina

OM Origen	Nombre del OM	Clave OM	Rama de OM
GTU	Sistema de turbina	GTU001AQ	Grupo Oleo hidráulico mando Turbina y Válvula
		GTU001AR	Armario regulador de velocidad Turbina
		GTU001BA	Reserva aceite válvula
		GTU001CT	Cojinete guía turbina
		GTU001PO	Bomba principal aceite regulación
		GTU001TC	Turbina Francis de eje vertical
		GTU001TC-JET	Junta de eje turbina
		GTU002PO	Bomba reserva aceite regulación
		GTU003CR	Caja de aire junta grupo hinchable
		GTU003PO	Bomba de aspiración de agua de junta de eje
		GTU004CR	Caja local de centralización turbina (H21)
		GTU401CR	Caja local de centralización turbina (H22)

Fuente: Elaboración propia.

Dentro del software APIPRO 9 se encuentran cargadas todas las órdenes de trabajo correctivas, preventivas, predictivas, de modificación, entre otras. Se extraen las relacionadas a la clave de origen GTU perteneciente a Sistema de Turbina y se seleccionan las de índole preventiva. En la **Tabla 8.16.** Plan preventivo Sistema de Turbina, La Joya se encuentran las tareas de mantenimiento establecidas dentro del plan que serán analizadas respecto a su campo de acción (referente al objeto de mantenimiento que atacan), y a las gamas que posee (aquellas instrucciones a seguir emitidas al reverso de la orden de trabajo).

Tabla 8.16. Plan preventivo Sistema de Turbina, La Joya

TAREA	PERIODICIDAD
INSPECCIÓN I&C COJINETE TURBINA	Anual
INSPECCIÓN MECÁNICA COJINETE TURBINA	Anual
INSPECCIÓN I&C CÁMARA ESPIRAL Y ANTEDISTRIBUIDOR	Anual
INSPECCIÓN MECÁNICA CÁMARA ESPIRAL Y ANTEDISTRIBUIDOR	Anual
INSPECCIÓN I&C DEL DISTRIBUIDOR	Anual
INSPECCIÓN I&C TURBINA	Anual
INSPECCIÓN MECÁNICA 6M TURBINA	Semestral
INSPECCIÓN MECÁNICA DEL DISTRIBUIDOR	Anual
INSPECCIÓN MECÁNICA TURBINA	Anual
INSPECCIÓN MECÁNICA 1M GRUPO OLEOHIDRÁULICO	Mensual

Fuente: Elaboración propia.

Al realizar el análisis de las actividades de mantenimiento preventivo del plan se estudia el ámbito de acción de cada actividad, procurando y corroborando que cada una de las ramas del objeto de mantenimiento, en este caso Sistema de Turbina, sea atacada y cubierta adecuadamente por el plan. La

Tabla 8.17. Relación de OM con Acciones Preventivas muestra los objetos de mantenimiento atacados en cada una de las acciones de mantenimiento preventivo que se realizan para el Sistema de Turbina.

Del listado total de 12 objetos que se desglosan del Sistema de Turbina se encontró que 8 están directamente relacionados con el plan preventivo mostrado en la **Tabla 8.16.** Plan preventivo Sistema de Turbina, La Joya

Tabla 8.17. Relación de OM con Acciones Preventivas

TAREA	OM CUBIERTOS
INSPECCIÓN I&C COJINETE TURBINA	GTU001CT
INSPECCIÓN MECÁNICA COJINETE TURBINA	GTU001CT
INSPECCIÓN I&C CÁMARA ESPIRAL Y ANTEDISTRIBUIDOR	GTU
INSPECCIÓN MECÁNICA CÁMARA ESPIRAL Y ANTEDISTRIBUIDOR	GTU
INSPECCIÓN I&C DEL DISTRIBUIDOR	GTU001TC
INSPECCIÓN I&C TURBINA	GTU001TC
	GTU401CR
INSPECCIÓN MECÁNICA 6M TURBINA	GTU001TC
INSPECCIÓN MECÁNICA DEL DISTRIBUIDOR	GTU001TC
INSPECCIÓN MECÁNICA TURBINA	GTU001TC
	GTU001TC-JET
INSPECCIÓN MECÁNICA 1M GRUPO OLEOHIDRÁULICO	GTU001AQ
	GTU001BA
	GTU001PO
	GTU002PO

Fuente: Elaboración propia.

Dentro de la **Tabla 8.18.** OM no relacionados al plan se encuentran los objetos de mantenimiento que no se relacionan con las actividades del Sistema de Turbina. Se estudió el ámbito de acción de plan junto con el montador mecánico y el eléctrico para encontrar las razones de la no presencia de dichos objetos. Se resalta con color rojo los objetos de mantenimiento que se consideraron excluidos del ámbito de operación y necesidades de la planta, porque no son utilizados o se retiraron del todo. Mientras tanto en color amarillo se sobresalen los objetos que por su ubicación o campo de acción están relacionados a acciones planificadas dentro de otro objeto de mantenimiento.

Tabla 8.18. OM no relacionados al plan

Clave OM	Rama de OM
GTU001AR	Armario regulador de velocidad Turbina
GTU003CR	Caja de aire junta grupo hinchable
GTU003PO	Bomba de aspiración de agua de junta de eje
GTU401CR	Caja local de centralización turbina (H22)

Fuente: Elaboración propia.

8.4.1.1 Estudio de las gamas y modificaciones

Las gamas son las instrucciones que se dan dentro de la orden de trabajo y que deben seguirse para realizar las actividades de mantenimiento preventivo. Entonces, se consideró necesario realizar mejoras a estas instrucciones al estudiarlas y analizarlas para determinar las que se están realizando, las que no son necesarias dentro de la OT (Orden de Trabajo) y acciones que se realizan que no se encuentran registradas dentro de las gamas. La idea principal del estudio es que sirvan como un tipo de manual instructivo estandarizado para la aplicación de las actividades preventivas y garantizar que cada elemento dentro del objeto que se está trabajando sea correctamente cubierto.

El procedimiento por seguir consta de extraer de cada actividad de mantenimiento preventivo a realizarse en el Sistema de Turbina el listado de las gamas y estudiar cada acción que se realiza. Para aquellas de índole mecánico se contó con el apoyo del montador mecánico y para lo relacionado a inspección eléctrica y de instrumentación y control se tuvo el apoyo del montador eléctrico.

Es importante recalcar que dentro de los procedimientos o gamas se tienen las primeras 5 que corresponden a procedimientos de verificación y seguridad de los equipos. Además, las últimas 4 son de reordenamiento y limpieza de las zonas, equipos y herramientas de trabajo.

En la **Tabla 8.19.** I&C Cojinete de Turbina se encuentran las gamas relacionadas a esta inspección, dentro del análisis efectuado se concluye que el procedimiento efectuado a la instrumentación y control es completo y va de acuerdo con las necesidades del equipo por lo que en dicho caso no se ha realizado ninguna variante.

Tabla 8.19. I&C Cojinete de Turbina

GAMA	INSPECCIÓN I&C COJINETE TURBINA
JCOJ04	REVISIÓN I&C COJINETE TURBINA
JCOJ04-1	IDENTIFICACIÓN Y SEGURIDAD
JCOJ04-2	CONFIRMAR LA IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS.
JCOJ04-3	CONFIRMAR QUE LA O.T. ESTÁ ASOCIADA AL EQUIPO REQUERIDO
JCOJ04-4	CUMPLIR REQ. SEG. SEGUIR INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD
JCOJ04-5	COMPROBAR ANTES DE INICIAR LOS TRABAJOS QUE EL DESCARGO SE HA REALIZADO
JCOJ04-6	REALIZAR INSPECCIÓN VISUAL DE CABLEADO
JCOJ04-7	COMPROBAR ESTADO DE CAJAS INTERMEDIAS DE BORNAS
JCOJ04-8	EXTRAER DEL SCADA DATOS HISTÓRICOS DE TEMPERATURA Y VALIDAR ESTADO DE RTD's
JCOJ04-9	DE SER NECESARIO SUSTITUIR Y CALIBRAR ELEMENTOS DAÑADOS
JCOJ04-10	REALIZAR VERIFICACIÓN FUNCIONAL DE MEDIDORES DE NIVEL
JCOJ04-11	COMPROBAR SEÑALES EN EL SCADA
JCOJ04-12	NORMALIZACIÓN
JCOJ04-13	NORMALIZAR LOS EQUIPOS
JCOJ04-14	RETIRAR TODOS LOS ÚTILES Y HERRAMIENTAS.
JCOJ04-15	LIMPIAR LA ZONA Y COMUNICAR LA FINALIZACIÓN DE LOS TRABAJOS.

Fuente: Elaboración propia.

Como parte de las recomendaciones para agilizar el proceso y alcance que tienen las OT se encarga anexar mediante el uso de APIPRO 9 los formatos utilizados para cada acción de mantenimiento específica. En el Anexo 9. Formato M0068 se encuentra el formato utilizado para la inspección I&C de cojinete de turbina, el cual se utiliza para la calibración y verificación de los medidores de nivel de cojinete. La idea principal de anexar los formatos a las OT es que tanto su encargado como quien la ejecuta no dejen de lado la importancia de la toma de datos en las acciones de mantenimiento.

La **Tabla 8.20**. I&C Cámara espiral y ante distribuidor amplía las gamas de mantenimiento de la instrumentación y control de dichos elementos. En este caso, se eliminan aspectos que no eran necesarios dentro de la actividad, ya que no arrojan ningún valor al mantenimiento; por ejemplo, la comprobación de señales analógicas, la cual no se realizaba y lo de complementar la hoja de registro, pues no hay hoja asociada a esta actividad, además se especificaron con color amarillo los aspectos que se corrigieron para un mejor entendimiento.

Tabla 8.20. I&C Cámara espiral y ante distribuidor

GAMA	INSPECCIÓN I&C CÁMARA ESPIRAL Y ANTEDISTRIBUIDOR
JAND02	INSPECCIÓN / REVISIÓN I&C CÁMARA ESPIRAL Y ANTEDISTRIBUIDOR
JAND02-1	IDENTIFICACIÓN Y SEGURIDAD
JAND02-2	CONFIRMAR LA IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS.
JAND02-3	CONFIRMAR QUE LA O.T. ESTÁ ASOCIADA AL EQUIPO REQUERIDO
JAND02-4	CUMPLIR REQ. SEG. SEGUIR INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD
JAND02-5	COMPROBAR ANTES DE INICIAR LOS TRABAJOS QUE EL DESCARGO SE HA REALIZADO
JAND02-6	REVISAR LOS DETECTORES INDUCTIVOS DE POSICIÓN
JAND02-7	COMPROBAR ANCLAJE DE LOS DETECTORES INDUCTIVOS.
JAND02-8	REALIZAR LIMPIEZA SUPERFICIAL
JAND02-9	COMPROBAR PROTECCIÓN/ PRESENCIA DE HUMEDAD
JAND02-10	COMPROBAR EL ESTADO DE CABLES OBSERVAR QUE ESTÉN BIEN SUJETOS Y PROTEGIDOS.
JAND02-11	COMPROBAR FUNCIONAMIENTO Y SEÑALIZACIÓN
JAND02-12	COMPROBAR SEÑALES EN EL SCADA
JAND02-13	REPARAR Y CORREGIR ANOMALÍAS/DE SER NECESARIO
JAND02-14	COMPRABACIÓN DE SEÑALES ANALÓGICAS
JAND02-15	INSPECCIÓN DE MANÓMETROS.
JAND02-16	NORMALIZACIÓN
JAND02-17	NORMALIZAR LOS EQUIPOS
JAND02-18	RETIRAR TODOS LOS ÚTILES Y HERRAMIENTAS.
JAND02-19	LIMPIAR LA ZONA Y COMUNICAR LA FINALIZACIÓN DE LOS TRABAJOS.

Fuente: Elaboración propia.

Para la toma de datos necesaria en esta actividad de debe incorporar el formato presente en el Anexo 10. Formato M0019, el cual muestra la tabla para la calibración de los detectores de posición.

La inspección de la instrumentación y control del distribuidor se realiza mediante el seguimiento de las gamas presentes en la **Tabla 8.21**. I&C Distribuidor a las cuales luego de analizarles no se les modificó el procedimiento, solamente se enlazaron dos actividades en una sola para una mejor comprensión del operario. Se debe, también, anexar la hoja de registro de datos a la OT asociada de la acción de mantenimiento en el programa APIPRO 9.

Tabla 8.21. I&C Distribuidor

GAMA	INSPECCIÓN I&C DEL DISTRIBUIDOR
JDIT02	INSPECCIÓN/REVISIÓN I&C DEL DISTRIBUIDOR
JDIT02-1	IDENTIFICACIÓN Y SEGURIDAD
JDIT02-2	CONFIRMAR LA IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS.
JDIT02-3	CONFIRMAR QUE LA O.T. ESTÁ ASOCIADA AL EQUIPO REQUERIDO
JDIT02-4	CUMPLIR REQ. SEG. SEGUIR INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD
JDIT02-5	COMPROBAR ANTES DE INICIAR LOS TRABAJOS QUE EL DESCARGO SE HA REALIZADO
JDIT02-6	REALIZAR OPERACIONES DE APERTURA Y CIERRE DEL DISTRIBUIDOR
JDIT02-7	COMPROBAR EL LAZO DEL CAPTADOR DE POSICIÓN EN ESCALONES DE 25% VERIFICANDO EN ARMARIO Y SCADA
JDIT02-8	CONMPROBAR SEÑALES DIGITALES DE POSICIÓN
JDIT02-9	CUMPLEMENTAR HOJA DE REGISTRO
JDIT02-10	AJUSTAR SI ES NECESARIO
JDIT02-11	NORMALIZACIÓN
JDIT02-12	NORMALIZAR LOS EQUIPOS
JDIT02-13	RETIRAR TODOS LOS ÚTILES Y HERRAMIENTAS.
JDIT02-14	LIMPIAR LA ZONA Y COMUNICAR LA FINALIZACIÓN DE LOS TRABAJOS.

Fuente: Elaboración propia.

La hoja de registro perteneciente al control del distribuidor consta de una tabla mediante la cual se ajusta la apertura y cierre del distribuidor, medido mediante lazos de corriente en el armario de control. El Anexo 11. Formato M 0008 muestra la tabla utilizada para esta acción de mantenimiento.

La inspección de instrumentación y control de la turbina se realiza mediante las gamas mencionadas en la **Tabla 8.22**. I&C Turbina A esta acción se le eliminaron varios elementos: la extracción de los datos históricos de temperatura ya no se realiza con el sistema actual, la verificación funcional de manómetros es una acción que realizan los operadores en sus inspecciones de rutina. Se agregaron tres aspectos: la inspección de la caja local H21, la cual se realiza con la OT de inspección I&C de turbina; la verificación del captador de posición y velocidad, importante para los datos que llegan al SCADA y se incorporó la comprobación de las corrientes de lazo del regulador de turbina, acción que siempre está presente pero no se tenía como gama, además de que poseen hojas de registro de datos que es necesario adicionar a los anexos de la OT dentro de APIPRO 9. Las mismas se presentan en los formatos del Anexo 12. Formato M 0009 Anexo 13. Formato M 0010 y el Anexo 14. Formato M 0011

Tabla 8.22. I&C Turbina

GAMA	INSPECCIÓN I&C TURBINA
JSFT07	INSPECCIÓN I&C TURBINA
JSFT07-1	IDENTIFICACIÓN Y SEGURIDAD
JSFT07-2	CONFIRMAR LA IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS.
JSFT07-3	CONFIRMAR QUE LA O.T. ESTÁ ASOCIADA AL EQUIPO REQUERIDO
JSFT07-4	CUMPLIR REQ. SEG. SEGUIR INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD
JSFT07-5	COMPROBAR ANTES DE INICIAR LOS TRABAJOS QUE EL DESCARGO SE HA REALIZADO
JSFT07-6	REALIZAR INSPECCIÓN VISUAL DE CABLEADO
JSFT07-7	COMPROBAR ESTADO DE CAJAS INTERMEDIAS DE BORNAS
JSFT07-8	INSPECCIÓN DE CAJA LOCAL H21
JSFT07-9	REALIZAR VERIFICACIÓN FUNCIONAL DE PRESOSTATOS
JSFT07-10	VERIFICACIÓN DEL CAPTADOR DE VELOCIDAD Y POSICIÓN
JSFT07-11	DE SER NECESARIO SUSTITUIR Y CALIBRAR ELEMENTOS DAÑADOS
JSFT07-12	COMPROBAR SEÑALES EN EL SCADA
JSFT07-13	COMPROBAR CORRIENTES DE LAZO DE REGULADOR DE TURBINA
JSFT07-14	COMPLEMENTAR HOJA DE REGISTRO
JSFT07-15	NORMALIZACIÓN
JSFT07-16	NORMALIZAR LOS EQUIPOS
JSFT07-17	RETIRAR TODOS LOS ÚTILES Y HERRAMIENTAS.
JSFT07-18	LIMPIAR LA ZONA Y COMUNICAR LA FINALIZACIÓN DE LOS TRABAJOS.

Fuente: Elaboración propia.

Las gamas resultantes de la inspección del grupo oleo se mencionan en la **Tabla 8.23**. Inspección Grupo Oleo Para esta actividad de mantenimiento preventivo se agregaron un total de cinco acciones y se modificaron dos; se muestran resaltadas en amarillo las acciones tratadas. Se especificó mejor el aspecto de la revisión en caso de presentarse alguna anomalía o falla de presión en el sistema seguido de los procedimientos a seguir en dado caso: desmonte de la bomba, cambio de retenedores, revisión del acople flexible, inspección de los sellos y la carcasa y lo que respecta a los sellos de las válvulas direccionales.

Tabla 8.23. Inspección Grupo Oleo

GAMA	INSPECCIÓN MECÁNICA 2M GRUPO OLEOHIDRÁULICO
JRGT01	INSPECCIÓN MENSUAL MECÁNICA GRUPO OLEOHIDRÁULICO
JRGT01-1	IDENTIFICACIÓN Y SEGURIDAD
JRGT01-2	CONFIRMAR LA IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS.
JRGT01-3	CONFIRMAR QUE LA O.T. ESTÁ ASOCIADA AL EQUIPO REQUERIDO
JRGT01-4	CUMPLIR REQ. SEG. SEGUIR INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD
JRGT01-5	COMPROBAR ANTES DE INICIAR LOS TRABAJOS QUE EL DESCARGO SE HA REALIZADO
JRGT01-6	REVISIÓN DE LOS FILTROS DE ADMISIÓN DE LAS BOMBAS
JRGT01-7	VACIAR EL ACEITE DEL CONJUNTO Y LIMPIAR TODOS LOS ELEMENTOS Y CIRCUITOS
JRGT01-8	FILTRAR ACEITE SI LOS ANÁLISIS LO INDICAN
JRGT01-9	VERIFICAR EL NIVEL DE ACEITE. EN CASO NECESARIO RELLENAR.
JRGT01-10	INSPECCIÓN DE BOMBAS HIDRÁULICAS
JRGT01-11	ARRANCAR LA BOMBA Y VERIFICAR PRESIONES DE FUNCIONAMIENTO.
JRGT01-12	REVISIÓN SI SE DETECTA ANOMALÍA O FALLA DE PRESIÓN
JRGT01-13	DESMONTAR BOMBA/REEMPLAZAR RETENEDORES
JRGT01-14	REVISAR ACOPLER FLEXIBLE
JRGT01-15	INSPECCIÓN DE SELLOS INTERNOS/DESGASTE EN CARCASA
JRGT01-16	VÁLVULAS DIRECCIONALES/REVISIÓN DE SELLOS
JRGT01-17	REVISAR VÁLVULAS DIRECCIONALES
JRGT01-18	ACUMULADORES
JRGT01-19	VERIFICAR PRESIÓN N2 EN ACUMULADORES/EN CASO DE FALLA
JRGT01-20	PRUEBA FUNCIONAL DEL SISTEMA HIDRÁULICO
JRGT01-21	NORMALIZACIÓN
JRGT01-22	NORMALIZAR LOS EQUIPOS
JRGT01-23	RETIRAR TODOS LOS ÚTILES Y HERRAMIENTAS.
JRGT01-24	LIMPIAR LA ZONA Y COMUNICAR LA FINALIZACIÓN DE LOS TRABAJOS.

Fuente: Elaboración propia.

La inspección del grupo Oleo se realiza mediante el formato detallado en el Anexo 15. Formato M 0040 Al igual que los demás formatos mencionados se presenta la necesidad de anexarlo al APIPRO 9.

La **Tabla 8.24.** Inspección semestral de Turbina muestra las gamas empleadas en la actividad de mantenimiento preventivo. Se analiza la acción y no se modifican sus gamas, ya que se concluye que la actividad como tal es obsoleta y debería ser eliminada del plan de mantenimiento preventivo. La razón principal es que da mayor cobertura la acción anual en la que se puede intervenir en la turbina mientras la unidad está fuera de servicio. Además, las inspecciones que se realizan con las unidades en funcionamiento son competencia de los operadores en sus rutinas diarias.

Tabla 8.24. Inspección semestral de Turbina

GAMA	INSPECCIÓN MECÁNICA 6M TURBINA
JSFT04	INSPECCIÓN MECÁNICA TURBINA
JSFT04-1	IDENTIFICACIÓN Y SEGURIDAD
JSFT04-2	CONFIRMAR LA IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS.
JSFT04-3	CONFIRMAR QUE LA O.T. ESTÁ ASOCIADA AL EQUIPO REQUERIDO
JSFT04-4	CUMPLIR REQ. SEG. SEGUIR INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD
JSFT04-5	COMPROBAR ANTES DE INICIAR LOS TRABAJOS QUE EL DESCARGO SE HA REALIZADO
JSFT04-6	VERIFICAR FUNCIONAMIENTO DE BOMBA Y SONDAS DE ACHIQUE
JSFT04-7	LIMPIAR EXTERIORMENTE EL TUBO DE ASPIRACIÓN
JSFT04-8	NORMALIZACIÓN
JSFT04-9	NORMALIZAR LOS EQUIPOS
JSFT04-10	RETIRAR TODOS LOS ÚTILES Y HERRAMIENTAS.
JSFT04-11	LIMPIAR LA ZONA Y COMUNICAR LA FINALIZACIÓN DE LOS TRABAJOS.

Fuente: Elaboración propia.

Dentro de la **Tabla 8.25**. Inspección del Distribuidor se encuentran las gamas aplicadas para la acción de preventivo en el distribuidor, que se analizan y se consideran acorde a lo que se realiza en el periodo de mantenimiento por lo que solamente necesita de ligeras modificaciones en un par de aspectos.

Las gamas de mayor impacto dentro de la inspección mecánica del distribuidor son las de revisión de álabes y la medición de holguras, es por esta razón que los formatos para registro de estos datos son de gran importancia y deben estar incluidos a esta OT. En el Anexo 16. Formato M 0003, Anexo 17. Formato M 0004 y el Anexo 18. Formato M 0005 se presenta el registro de datos necesarios para la inspección del distribuidor y que deben estar incorporados a la OT.

Tabla 8.25. Inspección del Distribuidor

GAMA	INSPECCIÓN MECÁNICA DEL DISTRIBUIDOR
JDIT03	INSPECCIÓN MECÁNICA DEL DISTRIBUIDOR
JDIT03-1	IDENTIFICACIÓN Y SEGURIDAD
JDIT03-2	CONFIRMAR LA IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS.
JDIT03-3	CONFIRMAR QUE LA O.T. ESTÁ ASOCIADA AL EQUIPO REQUERIDO
JDIT03-4	CUMPLIR REQ. SEG. SEGUIR INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD
JDIT03-5	COMPROBAR ANTES DE INICIAR LOS TRABAJOS QUE EL DESCARGO SE HA REALIZADO
JDIT03-6	INSPECCIÓN DE ALABES
JDIT03-7	LIMPIAR LOS ÁLABES
JDIT03-8	CON LOS ÁLABES CERRADOS VERIFICAR EL HOLGURA EN LA ZONA DEL CIERRE.
JDIT03-9	VERIFICAR EL HOLGURA ENTRE EL ÁLABE Y ESCUDO SUPERIOR E INFERIOR.
JDIT03-10	SANEAR Y REPARAR LAS ZONAS DAÑADAS
JDIT03-11	COMPROBACIÓN DE SERVOMOTOR
JDIT03-12	COMPROBAR AUSENCIA DE FUGAS POR LOS SELLOS DEL SERVOMOTOR.
JDIT03-13	MEDIR TIEMPO DE APERTURA Y CIERRE DEL DISTRIBUIDOR
JDIT03-14	NORMALIZACIÓN
JDIT03-15	NORMALIZAR LOS EQUIPOS
JDIT03-16	RETIRAR TODOS LOS ÚTILES Y HERRAMIENTAS.
JDIT03-17	LIMPIAR LA ZONA Y COMUNICAR LA FINALIZACIÓN DE LOS TRABAJOS.

Fuente: Elaboración propia.

La inspección anual de turbina que se realiza en los periodos de mantenimiento con máquina parada es la que sustituye la acción semestral. En la **Tabla 8.26**. Inspección anual de Turbina se enumeran las gamas necesarias para realizar la acción de mantenimiento y a las que se les agregaron detalles como la especificación de la necesidad del lavado de foso de turbina, que no debe quedarse solo en una acción de limpieza, pues lo ideal es el lavado para dejar ver los detalles que puedan ser importantes. La verificación de los parámetros de caudal de junta de eje es necesario, ya que indica el nivel de desgaste de la junta y con ello se define si es o no necesario cambiarla. La medición de laberintos ayuda a mantener los parámetros de desgaste presentes en los álabes móviles. Las pruebas en el rodete con tintas penetrantes dan una idea del desgaste sufrido por este durante su periodo de trabajo. La inspección del anillo del cono de aspiración necesaria para solventar fracturas o desgastes sufridos generalmente por efecto de la cavitación. Para la gama de medición de laberintos es necesario que la OT lleve agregada la hoja del Anexo 19. Formato M 0006

Tabla 8.26. Inspección anual de Turbina

GAMA	INSPECCIÓN MECÁNICA TURBINA
JSFT01	INSPECCIÓN MECÁNICA TURBINA
JSFT01-1	IDENTIFICACIÓN Y SEGURIDAD
JSFT01-2	CONFIRMAR LA IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS.
JSFT01-3	CONFIRMAR QUE LA O.T. ESTÁ ASOCIADA AL EQUIPO REQUERIDO
JSFT01-4	CUMPLIR REQ. SEG. SEGUIR INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD
JSFT01-5	COMPROBAR ANTES DE INICIAR LOS TRABAJOS QUE EL DESCARGO SE HA REALIZADO
JSFT01-6	LAVADO DE FOSO DE TURBINA
JSFT01-7	VERIFICAR PARÁMETROS DE CAUDAL DE JUNTA DE EJE
JSFT01-8	MEDICIÓN DE LABERINTOS
JSFT01-9	REALIZAR PRUEBA NDT A RODETE (TINTAS PENETRANTES)
JSFT01-10	INSPECCIÓN DE ANILLO DE CONO DE ASPIRACIÓN
JSFT01-11	NORMALIZACIÓN
JSFT01-12	NORMALIZAR LOS EQUIPOS
JSFT01-13	RETIRAR TODOS LOS ÚTILES Y HERRAMIENTAS.
JSFT01-14	LIMPIAR LA ZONA Y COMUNICAR LA FINALIZACIÓN DE LOS TRABAJOS.

Fuente: Elaboración propia.

Las gamas pertenecientes a la inspección mecánica de la cámara espiral y el ante distribuidor se redujeron para mejorar su redacción y comprensión de las actividades a realizar y luego de analizarlas resultaron en lo que se muestra en la **Tabla 8.27. Inspección de Cámara Espiral**

Tabla 8.27. Inspección de Cámara Espiral

GAMA	INSPECCIÓN MECÁNICA CÁMARA ESPIRAL Y ANTEDISTRIBUIDOR
JAND01	INSPECCIÓN / REVISIÓN MECÁNICA CÁMARA ESPIRAL Y ANTEDISTRIBUIDOR
JAND01-1	IDENTIFICACIÓN Y SEGURIDAD
JAND01-2	CONFIRMAR LA IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS.
JAND01-3	CONFIRMAR QUE LA O.T. ESTÁ ASOCIADA AL EQUIPO REQUERIDO
JAND01-4	CUMPLIR REQ. SEG. SEGUIR INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD
JAND01-5	COMPROBAR ANTES DE INICIAR LOS TRABAJOS QUE EL DESCARGO SE HA REALIZADO
JAND01-6	LAVADO DE CÁMARA ESPIRAL Y REGISTROS DE DESAGÜE
JAND01-7	INSPECCIONAR CÁMARA ESPIRAL EN BUSCA DE SUPERFICIES CORROÍDAS
JAND01-8	APLICAR LÍQUIDOS PENETRANTES PARA DETECTAR GRIETAS EN SOLDADURAS
JAND01-9	REVISAR Y SANEAR BOCAS DE HOMBRE.
JAND01-10	LIMPIAR LA SUPERFICIE DE ASIENTO Y SUSTITUIR LAS JUNTAS (SEGÚN CONDICIÓN)
JAND01-11	RECUPERAR LAS CAVITACIONES DE LA CÁMARA ESPIRAL.
JAND01-12	NORMALIZACIÓN
JAND01-13	NORMALIZAR LOS EQUIPOS
JAND01-14	RETIRAR TODOS LOS ÚTILES Y HERRAMIENTAS.
JAND01-15	LIMPIAR LA ZONA Y COMUNICAR LA FINALIZACIÓN DE LOS TRABAJOS.

Fuente: Elaboración propia.

La inspección mecánica del cojinete de turbina es en cierto modo la acción más fuerte de mantenimiento que se le realiza al Sistema de Turbina, ya que su accionar no se centra únicamente en inspección. Es en esta OT donde se efectúan la mayor parte de intervenciones generadas a partir de las otras de inspecciones realizadas en la zona de foso de turbina. Por lo tanto, esta OT depende abiertamente del resultado de los análisis de aceites, de las vibraciones y de las revisiones en elementos como sensores, juntas de eje, niveles de aceite, tuberías de refrigeración, entre otros. La **Tabla 8.28**. Inspección de Cojinete de Turbina muestra las gamas utilizadas para el procedimiento de inspección, a las que se le realizaron un par de mejoras y la disminución de ítems que no tenían relación alguna con la acción de mantenimiento.

Tabla 8.28. Inspección de Cojinete de Turbina

GAMA	INSPECCIÓN MECÁNICA COJINETE TURBINA
JCOJ03	INSPECCIÓN/REVISIÓN MECÁNICA COJINETE TURBINA
JCOJ03-1	IDENTIFICACIÓN Y SEGURIDAD
JCOJ03-2	CONFIRMAR LA IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS.
JCOJ03-3	CONFIRMAR QUE LA O.T. ESTÁ ASOCIADA AL EQUIPO REQUERIDO
JCOJ03-4	CUMPLIR REQ. SEG. SEGUIR INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD
JCOJ03-5	COMPROBAR ANTES DE INICIAR LOS TRABAJOS QUE EL DESCARGO SE HA REALIZADO
JCOJ03-6	VACIAR EL ACEITE DE LA CUBA (EN CASO DE DESARME COMPLETO O CAMBIO)
JCOJ03-7	CAMBIO DE ORINGS
JCOJ03-8	VERIFICAR HOLGURAS EN EL COJINETE/GALGAR EL COJINETE
JCOJ03-9	INSPEC COJINETE BIPARTIDO/INSPECCIONAR LA SUPERFICIE DEL METAL ANTIFRICCIÓN
JCOJ03-10	APLICAR LÍQUIDO PENETRANTE COMPROBAR ADHESIÓN DEL ANTIFRICCIÓN CON ULTRASONIDO
JCOJ03-11	LIMPIAR EL FONDO DE LA CUBA
JCOJ03-12	MONTAR COJINETE
JCOJ03-13	RELLENAR ACEITE SI FUERA NECESARIO
JCOJ03-14	MONTAR LAS TAPAS
JCOJ03-15	NORMALIZACIÓN
JCOJ03-16	NORMALIZAR LOS EQUIPOS
JCOJ03-17	RETIRAR TODOS LOS ÚTILES Y HERRAMIENTAS.
JCOJ03-18	LIMPIAR LA ZONA Y COMUNICAR LA FINALIZACIÓN DE LOS TRABAJOS.

Fuente: Elaboración propia.

Dentro de las mejoras requeridas para la inspección de cojinete de turbina, se recomienda incorporar a la OT la hoja de registro para la medición de la holgura entre el cojinete y el eje, la cual se presenta en el Anexo 20. Formato M 0052 Dicho formato junto con un análisis de aceite dictaminan si existe la necesidad de desarme completo del cojinete o si, por el contrario, es suficiente con la inspección. A manera de formato opcional, creado como una guía en caso de que exista desarme de cojinete, y como un parámetro a seguir para otros procedimientos considerados grandes, se anexa un manual de procedimiento de desarme, ya sea para intervención del cojinete o reemplazo de junta de eje y que se presenta en el Anexo 21. Mantenimiento de cojinete de

8.4.2 Sistema de Drenaje Torito

Dentro del análisis de criticidad y de fallas frecuentes realizado para la planta Torito y como se puede observar en los resultados de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** el sistema de mayor demanda para esta planta es el drenaje, el mismo es un objeto de mantenimiento proveniente del sistema de suministro y disposición de agua.

Como el OM (Objeto de Mantenimiento) Drenajes solo posee una rama, la cual es Sistema de Drenaje, no existe una ramificación que se tenga que tabular. Por lo tanto, se procede directamente a la extracción de las actividades preventivas ligadas al sistema. La **Tabla 8.29.** Plan Preventivo Drenaje Torito muestra las actividades de mantenimiento que se encuentran cargadas en el programa de APIPRO 9.

Tabla 8.29. Plan Preventivo Drenaje Torito

PREVENTIVO	PERIODICIDAD	OM RELACIONADA
Inspección / revisión eléctrica armarios eléctricos	Anual	GMA10
INSPECCIÓN I&C 1A FOSO DRENJE	Anual	GMA10
Inspección mecánica 1A pozo de drenajes	Anual	GMA10
Inspección Eléctrica 5a bombas sumergibles	5 Años	GMA10

Fuente: Elaboración propia.

8.4.2.1 Análisis de las gamas y modificaciones al plan

Anteriormente, se definió el concepto de las gamas y es casi el mismo para ambas plantas. Al igual que lo realizado en la La Joya, para este caso se extrajeron las gamas para cada actividad preventiva relacionada al OM Drenaje, en específico a la de Torito.

La primera de las actividades de mantenimiento planeadas para el sistema de drenaje es la revisión de armarios eléctricos. En la **Tabla 8.30**. Revisión de armarios eléctricos se presentan las gamas analizadas y con la adhesión de la verificación del estado de las luces piloto, necesario para la señalización proveniente del armario.

Tabla 8.30. Revisión de armarios eléctricos

Gama	Inspección / revisión eléctrica armarios eléctricos
TGMA05	Inspección / revisión eléctrica armarios eléctricos
TGMA05-1	Se han evaluado los riesgos según las actividades definidas
TGMA05-2	Se establecen los controles a los riesgos identificados
TGMA05-3	Realizar limpieza general interna y externa del armario
TGMA05-4	Comprobar sistema de iluminación
TGMA05-5	Verificar sistema de calefacción y ventilación
TGMA05-6	Verificar el estado de la señalización (luces piloto)
TGMA05-7	Sustituir elementos dañados en caso necesario
TGMA05-8	Normalizar los equipos
TGMA05-9	Retirar todos los útiles y herramientas
TGMA05-10	Limpiar la zona e informar a operación la finalización de los trabajos

Fuente: Elaboración propia.

En lo que respecta a inspecciones mecánicas para el drenaje de Torito, solamente se encontró una actividad preventiva en el plan, así que fue necesario ampliar el alcance de las gamas para detallar los procedimientos que se realizan. Se agregó la inspección visual de plataformas y equipos de izaje de cargas, ya que aunque existe una OT relacionada a estos aspectos es necesario verificar su funcionamiento antes de ser utilizados. Además, se integró la Gama de verificación de válvulas y tuberías muy necesaria debido a que están expuestas a la corrosión y el desgaste, mientras que la prueba funcional de las bombas es un aspecto que se debe chequear continuamente, tanto eléctrica como mecánicamente.

Asimismo, se debe realizar la verificación de presión de trabajo de las bombas con el fin de definir la necesidad de realizar un mantenimiento más profundo de estas. Para esta actividad de mantenimiento no es necesaria anexar ningún formato, ya que los únicos datos necesarios son los del rango de presión de trabajo de cada bomba y dados por el fabricante.

Tabla 8.31. Inspección Mecánica Drenajes

Gama	Inspección mecánica 1A sistema de drenajes
TGMA01	Inspección mecánica 1A pozo de drenajes
TGMA01-1	Se han evaluado los riesgos según las actividades definidas
TGMA01-2	Se establecen los controles a los riesgos identificados
TGMA01-3	Inspección visual de plataformas
TGMA01-4	Inspección de equipos de levantamiento / Tecles, cadena y frenado
TGMA01-5	Inspección de tuberías y válvulas de drenaje (estado de pintura y corrosión)
TGMA01-6	Anotar presión y comprobar sentido de giro
TGMA01-7	Valorar si es necesaria la extracción de la bomba para chequeo o desarme
TGMA01-8	Comprobar el estado exterior de la bomba
TGMA01-9	Cambio de bomba seleccionada y prueba funcional (en caso de avería)
TGMA01-10	Normalizar los equipos
TGMA01-11	Retirar todos los útiles y herramientas
TGMA01-12	Limpiar la zona e informar a operación la finalización de los trabajos

Fuente: Elaboración propia.

En el plan de mantenimiento de Torito se encontró la actividad de inspección de instrumentación y control del foso de drenaje, pero con la particularidad de que no posee gamas asociadas a su procedimiento. Se encontró el instructivo de las gamas cargado pero no enlazado a la OT, pero con la ayuda del montador eléctrico se acordaron las actividades necesarias a realizar en esta inspección con el fin de modificar lo que se encontrara necesario. Se determinó de acuerdo con el tipo de actividad correspondiente que no es necesario la aplicación de un formato para dicho procedimiento, ya que no existe una necesidad factible de recolección de datos que genere plusvalía a la actividad de mantenimiento.

Tabla 8.32. I&C Foso Drenaje

Gama	Inspección I&C 1A Foso Drenaje
TGMA03	Inspección y revisión 1A I&C sistema drenaje y vaciado
TGMA03-1	Se han evaluado los riesgos según las actividades definidas
TGMA03-2	Se establecen los controles a los riesgos identificados
TGMA03-3	Realizar prueba funcional de las boyas de nivel
TGMA03-4	Comprobar correcta activación de bombas
TGMA03-5	Comprobar funcionamiento y lecturas de instrumentación de presión
TGMA03-6	Verificar estado de la señalización (luces piloto)
TGMA03-7	Verificación de sensores de nivel
TGMA03-8	Verificación de detector de hidrocarburos (aceite en el agua)
TGMA03-9	Normalizar los equipos
TGMA03-10	Retirar todos los útiles y herramientas
TGMA03-11	Limpiar la zona e informar a operación la finalización de los trabajos

Fuente: Elaboración propia.

Relacionada con el sistema de drenaje se encuentra un OT con periodicidad de 5 años, específicamente centrada en el mantenimiento de las bombas sumergibles que se refieren a las bombas de respaldo que se utilizan para aumentar la velocidad de vaciado del foso o, también, en labores de mantenimiento cuando se necesita extraer agua de alguno de los canales (carga o descarga). La **Tabla 8.33**. Inspección Bombas sumergibles muestra las gamas asociadas a dicha actividad, las cuales fueron analizadas sin considerarse necesario realizar cambios. Por otra parte, si existe la necesidad de anexar los formatos del Anexo 22. Formato M 0096 y el Anexo 23. Formato M 0097 a la actividad.

Tabla 8.33. Inspección Bombas sumergibles

Gama	Inspección Eléctrica 5a bombas sumergibles
TGMA02	Inspección Eléctrica 5a bombas sumergibles
TGMA02-1	Se han evaluado los riesgos según las actividades definidas
TGMA02-2	Se establecen los controles a los riesgos identificados
TGMA02-3	Medida de resistencia de bobinado
TGMA02-4	Inspección de sellos mecánicos de bomba
TGMA02-5	Inspección de sensores
TGMA02-6	Lubricación de cojinetes
TGMA02-7	Cambio de aceite
TGMA02-8	Normalizar los equipos
TGMA02-9	Retirar todos los útiles y herramientas
TGMA02-10	Limpia la zona e informar a operación la finalización de los trabajos

Fuente: Elaboración propia.

Además de las cuatro actividades ya mencionadas y encontradas dentro del plan preventivo de mantenimiento de la planta Torito, se considera necesaria la adhesión al plan de otras igual de importantes. La primera de ellas consta de la revisión eléctrica de cada una de las bombas dentro del foso de drenaje. En total se cuenta con cuatro bombas sumergidas en el foso: dos de vaciado y dos de drenaje, por lo tanto se debe realizar una OT asociada a cada bomba. Para la instrucción de la revisión eléctrica de cada bomba se tomó como base la OT del mismo tipo existente en la planta La Joya, así como del conocimiento del montador eléctrico sobre los trabajos anteriores realizados.

Como ya se mencionó, son cuatro bombas las que existen dentro del foso de drenaje por lo que es necesario, tanto por orden como por facilidad de descargo por parte del departamento de operación, que cada una de las bombas posea una OT generada individual. En la **Tabla 8.34**. Revisión Eléctrica de Bombas se muestran las cuatro OT relacionadas con la actividad de mantenimiento.

Tabla 8.34. Revisión Eléctrica de Bombas

Nombre de la OT
Revisión Eléctrica 1A Motor de Bomba de Vaciado 1
Revisión Eléctrica 1A Motor de Bomba de Vaciado 2
Revisión Eléctrica 1A Motor de Bomba de Drenaje 1
Revisión Eléctrica 1A Motor de Bomba de Drenaje 2

Fuente: Elaboración propia.

En la **Tabla 8.35**. Revisión Eléctrica Bomba Vaciado 1 se muestra el resultado de las gamas asociadas a la OT del mismo nombre. Además, para la realización de dichas OT se deben agregar al APIPRO 9 las hojas de registro del Anexo 22. Formato M 0096 y del Anexo 23. Formato M 0097, necesarias para el análisis de las variables eléctricas de los motores de cada bomba.

Tabla 8.35. Revisión Eléctrica Bomba Vaciado 1

Gama	Revisión Eléctrica 1A Motor de Bomba de Vaciado 1
TGMA04	Inspección eléctrica 1A bomba
TGMA04-1	Se han evaluado los riesgos según las actividades definidas
TGMA04-2	Se establecen los controles a los riesgos identificados
TGMA04-3	Comprobar estado cuadro de control
TGMA04-4	Comprobar operación gaveta de control
TGMA04-5	Medir consumo de corriente bomba
TGMA04-6	Comprobar nivel de tensión de bomba
TGMA04-7	Revisar estado de caja de bornas
TGMA04-8	Comprobar estado general
TGMA04-9	Completar formatos
TGMA04-10	Normalizar los equipos
TGMA04-11	Retirar todos los útiles y herramientas
TGMA04-12	Limpiar la zona e informar a operación la finalización de los trabajos

Fuente: Elaboración propia.

La segunda actividad adicional necesaria para el mantenimiento del sistema de drenaje es la revisión mecánica de cada una de las bombas presentes en el foso. Al igual que como se planteó para la inspección eléctrica, es necesario realizar una OT por actividad de mantenimiento para cada bomba por separado, eso sí con la particularidad de que para realizar esta revisión es necesario extraer la bomba del foso por lo que no puede realizarse como una actividad anual. En la **Tabla 8.36**. Revisión Mecánica de Bombas se muestran las OT relacionadas para dicha actividad de mantenimiento preventivo.

Tabla 8.36. Revisión Mecánica de Bombas

Nombre de la OT
Inspección Mecánica 3A de Bomba de Vaciado 1
Inspección Mecánica 3A de Bomba de Vaciado 2
Inspección Mecánica 3A de Bomba de Drenaje 1
Inspección Mecánica 3A de Bomba de Drenaje 2

Fuente: Elaboración propia.

Dentro de la **r oxidación** tiende a ser mayor.

Tabla 8.37. Inspección Mecánica Bomba de Vaciado 1 se encuentran las gamas correspondientes para esta actividad. Las mismas se determinaron mediante la modificación de una actividad de revisión de bombas estimada para 5 años, la cual incluía el cambio de sellos y aceite. Además, se consultó el manual de mantenimiento de la bomba Sulzer ABS XFP 100G, mediante el cual se determinó la necesidad del cambio de rodamientos y el remplazo del refrigerante de la bomba. También, en consenso con el montador mecánico se concluyó la necesidad de la extracción de la bomba para el chequeo de la carcasa, debido a que al encontrarse sumergida el deterioro por oxidación tiende a ser mayor.

Tabla 8.37. Inspección Mecánica Bomba de Vaciado 1

Gama	Inspección Mecánica 3A de Bomba de Vaciado 1
TGMA06	Inspección mecánica de bomba
TGMA06-1	Se han evaluado los riesgos según las actividades definidas
TGMA06-2	Se establecen los controles a los riesgos identificados
TGMA06-3	Extracción de bomba del foso
TGMA06-4	Revisión de carcasa
TGMA06-5	Inspección/remplazo de sellos mecánicos de bomba
TGMA06-6	Lubricación/remplazo de cojinetes
TGMA06-7	Cambio de aceite
TGMA06-8	Cambio de refrigerante
TGMA06-9	Normalizar los equipos
TGMA06-10	Retirar todos los útiles y herramientas
TGMA06-11	Limpiar la zona e informar a operación la finalización de los trabajos

Fuente: Elaboración propia.

8.5 Fase 5: Modificaciones del Programa de Mantenimiento

La programación del mantenimiento preventivo dentro de las plantas de GPG Costa Rica se planea de acuerdo con las necesidades de producción requeridas. Por ejemplo, en tiempo de época seca la exigencia de generación que se les pide a las plantas es menor, debido a que éstas dependen de las aguas turbinadas por otras plantas generadoras. Esto convierte el periodo seco en un tiempo idóneo para realizar mantenimientos que requieran de parada completa de alguna unidad. Otro aspecto para tomar en cuenta para la programación del mantenimiento es el periodo de paradas por mantenimiento de las plantas de Cachí y Angostura, al depender de estas si estas no se encuentran turbinando tampoco lo podrán hacer las plantas de Torito y La Joya.

Ahora bien, es importante tener en cuenta que el personal de Operación y de Mantenimiento Energy consta de 20 personas aproximadamente entre jefes, Recursos Humanos, mecánicos, eléctricos y operadores de los que solamente 8 personas (mecánicos y eléctricos) se hacen cargo de las tareas de mantenimiento de 2 plantas y 5 unidades generadoras. Sumado a esto debemos tener en cuenta la distancia existente entre una planta y otra cercana a 40 minutos de recorrido en automóvil, lo que genera cierto grado de dificultad cuando se deben atender incidentes en ambas plantas. Razón por la cual es necesario tomar en cuenta la disponibilidad del personal para planificar los tiempos de mantenimiento.

El plan de mantenimiento como ya se ha mencionado, se carga a manera de órdenes de trabajo por realizar al sistema de software APIPRO 9. Dentro del sistema propuesto el encargado de la oficina de Mantenimiento, puesto de organización y planificación sugerido, deberá encargarse de planificar las actividades de mantenimiento que se realizaran semanalmente, coordinándolas con el Jefe de Operación y de Mantenimiento y encargándose de asignarle su ejecución al montador mecánico y al montador eléctrico según sea la competencia de las tareas asignadas. La oficina de Mantenimiento será la encargada de velar por que las OT se estén realizando al día y sean cerradas y cargadas al sistema a su debida finalización.

En lo que respecta al planeamiento de las actividades tratadas en la fase 4, se analizó su frecuencia de acción para determinar la periodicidad con la que se están empleando.

8.5.1 Periodicidad del mantenimiento de Sistema de Turbina La Joya.

La **Tabla 8.38**. Planeamiento del Sistema de Turbina contiene las actividades de mantenimiento preventivo asignadas, según su periodicidad. Para este caso las consideradas de ejecución anual se mantienen igual que en el planeamiento original, mientras que las de revisión mensual de grupo oleo hidráulico, resaltada en

amarillo, se consideró pasarse a carácter bimensual con la finalidad de eliminar el sobre mantenimiento pero sin abandonar su monitoreo.

Por otra parte, en color rojo se resalta la inspección mecánica 6M de turbina, actividad que se consideró eliminar debido a que su realización no estaba generando valor agregado al mantenimiento, ya que no se estaba realizando con máquina detenida y la actividad anual cubre las necesidades de mantenimiento del elemento.

Tabla 8.38. Planeamiento del Sistema de Turbina

ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO	PERIODICIDAD
INSPECCIÓN I&C COJINETE TURBINA	Anual
INSPECCIÓN I&C CÁMARA ESPIRAL Y ANTEDISTRIBUIDOR	Anual
INSPECCIÓN I&C DEL DISTRIBUIDOR	Anual
INSPECCIÓN I&C TURBINA	Anual
INSPECCIÓN MECÁNICA 2M GRUPO OLEOHIDRÁULICO	Bimensual
INSPECCIÓN MECÁNICA 6M TURBINA	Eliminada
INSPECCIÓN MECÁNICA DEL DISTRIBUIDOR	Anual
INSPECCIÓN MECÁNICA TURBINA	Anual
INSPECCIÓN MECÁNICA CÁMARA ESPIRAL Y ANTEDISTRIBUIDOR	Anual
INSPECCIÓN MECÁNICA COJINETE TURBINA	Anual

Fuente: Elaboración propia.

8.5.2 Periodicidad del mantenimiento de Sistema de Drenaje Torito

Dentro de la

Tabla 8.39. Planeamiento del Sistema de Drenaje se muestra la periodicidad asignada y la totalidad de actividades generadas para este objeto de mantenimiento. Se resaltan con color amarillo aquellas que fueron modificadas o agregadas al plan. Se varió la periodicidad de la recisión de armarios del foso; se pasó de una actividad anual a un periodo trimestral, la razón, es necesario dar seguimiento y garantía a la correcta activación del sistema de drenajes y vaciado; y, añadido al hecho de que se presentan problemas frecuentes en el sistema, es necesario darle un mejor seguimiento.

La actividad de recisión eléctrica de cada una de las bombas se asignó como una actividad anual y la finalidad es que se le pueda dar una correcta interpretación a los datos que se deben recopilar en los formatos asignados y así poder determinar las acciones posteriores a seguir en este campo.

La actividad de inspección mecánica de bombas programada a 3 años se basó en una actividad existente dentro del plan, la cual era de aspectos generales y se recomendaba para cada 5 años. Debido al análisis del posible desgaste que puede sufrir una bomba en estado sumergido durante 5 años consecutivos fue que se varió la periodicidad de esta a cada 3 años, incluyendo la extracción del foso y el desarme de las bombas para su completa revisión. Es importante tomar en cuenta para la planeación que las actividades de revisión eléctrica anual de bombas y la de inspección mecánica de 3 años coincidan en sus fechas de ejecución con el fin de dar mayor aprovechamiento al hecho de la extracción de la bomba del foso.

Tabla 8.39. Planeamiento del Sistema de Drenaje

ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO	PERIODICIDAD
Inspección / revisión eléctrica armarios eléctricos	Trimestral
Inspección I&C 1A Foso Drenaje	Anual
Inspección Mecánica 1A pozo de drenajes	Anual
Revisión Eléctrica 1A Motor de Bomba de Vaciado 1	Anual
Revisión Eléctrica 1A Motor de Bomba de Vaciado 2	Anual
Revisión Eléctrica 1A Motor de Bomba de Drenaje 1	Anual
Revisión Eléctrica 1A Motor de Bomba de Drenaje 2	Anual
Inspección Mecánica 3A de Bomba de Vaciado 1	3 años
Inspección Mecánica 3A de Bomba de Vaciado 2	3 años
Inspección Mecánica 3A de Bomba de Drenaje 1	3 años
Inspección Mecánica 3A de Bomba de Drenaje 2	3 años
Inspección Eléctrica 5a bombas sumergibles	5 años

Fuente: Elaboración propia.

9 Conclusiones

- Mediante la aplicación de la auditoría MES se determinó el grado de madurez del Departamento de Mantenimiento, se concluyó que apenas se cuenta con un índice por arriba del nivel promedio en la escala de mantenimiento por lo que se recomendaron acciones a implementar en busca de mejora.
- Con la implementación de las mejoras en la Bodega General de la planta torito, producto de la aplicación de la auditoría 5S se reflejó una nota casi 20 puntos por debajo del mínimo de 80. El mismo se impulsó como plan piloto para su implementación en las demás áreas de la planta.
- Con la aplicación de la regla de Pareto se determinaron los objetos de mantenimiento que engloban el 80% de las actividades de mantenimiento correctivo realizadas en cada una de las plantas. De esta forma se tomaron mejores decisiones sobre los objetos que deben ser fuertemente atacados en los planeamientos preventivos.
- El departamento necesita de la aplicación de indicadores propios de mantenimiento por lo que se propusieron indicadores para el control de los tiempos medios entre fallas, la disponibilidad real de los equipos y la tasa de mantenimiento preventivo aplicado.
- Mediante la integración de los conceptos esenciales del mantenimiento, se diseñó un modelo de gestión que engloba la aplicación de las herramientas existentes en la empresa, capaz de gestionar los procedimientos del mantenimiento que se llevan a cabo en ambas plantas generadoras.
- La organización posee los recursos tanto humanos como técnicos para darle un adecuado seguimiento a la implementación del modelo de gestión de mantenimiento.

10 Recomendaciones

- Continuar el modelo de aplicación de auditorías de mantenimiento como la MES con la idea de lograr con el tiempo la mejora del Departamento y ostentar a conseguir uno de categoría clase mundial.
- Dar continuidad a la implementación del modelo de gestión de mantenimiento, con el fin de aplicar mejoras continuamente a la organización, planificación y ejecución del mantenimiento dentro de ambas plantas.
- Continuar con la evaluación y las mejoras al plan de mantenimiento preventivo, dando énfasis a los objetos de mantenimiento más críticos de cada planta obtenidos mediante el análisis de criticidad.
- Contratación del puesto requerido en la Oficina de Mantenimiento para aliviar la sobrecarga laboral del Jefe de Operación y Mantenimiento y poder llevar al día el plan de gestión y sus mejoras.
- Generar un formato para la aplicación de los indicadores de mantenimiento propuestos que colabore en la recolección y la interpretación de los datos para poder generar un histórico de indicadores que ayude a entender mejor el accionar de los planes de mantenimiento sobre los principales elementos de las plantas.
- Evaluar regularmente el seguimiento del programa 5S en el área de Bodega General para que esta se convierta en una herramienta útil del desarrollo de mantenimiento, además de servir de ejemplo para su expansión a otras áreas de trabajo.
- Fomentar el continuo aprendizaje y la motivación del personal, de esta forma conseguir un mayor grado de compromiso y dedicación en el desarrollo de sus actividades.

11 Bibliografía

- Acuña, J. A.** (2003). *Ingeniería de Confiabilidad*. Cartago: Tecnológica de Costa Rica.
- Barbera, L. Crespo, A. Kristjanpoller, F. Stegmaier, R. & Viveros, P.** (2011). *Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo*. Chile: Ingeniare.
- Cuatrecasas, L.** (2001). *TPM: Hacia la competitividad a través de la eficiencia de los equipos de producción*. Barcelona: Gestión 2000.
- Elola, L.** (2009). *Gestión integral de mantenimiento*. España: Marcombo.
- Hernández, S. R.** (2010). *Metodología de la Investigación*. México D.F: Mc Graw-Hill / Interamericana Editores, S. A. de C.V.
- García, S.** (2004). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. España: Ediciones Díaz de Santos.
- Garrido, S.** (2010). *La contratación del Mantenimiento Industrial*. Madrid: Díaz de Santos.
- Gómez G, L.** (2013). Material del curso de Administración de Mantenimiento I. *Índices de Mantenimiento*. Cartago, Costa Rica.
- Integra Markets.** (2018). *Gestión y Planificación del Mantenimiento Industrial*. Grupo América Factorial S.A.C.
- Mesa G, D.** (2006). *La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento*. Universidad Tecnológica de Pereira.

Parra, C., & Crespo, A. (2012). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la Gestión de Activos*. Sevilla: INGEMAN.

Parra, C., & Crespo, A. (2017). *Técnicas de Auditoría aplicadas en los procesos de Gestión del Mantenimiento y de la Confiabilidad*. Sevilla: INGEMAN.

Piedra S, C. (2015). Material del curso de Administración de Mantenimiento II. *Modelo 16 grandes pérdidas*. Cartago, Costa Rica.

Quienes somos. Extraído el día 08 de mayo de 2018 desde
<http://www.globalpower-generation.com/es/quienes-somos/>

Romero, J. (2013). *Análisis de criticidad y estudio RCM del equipo de máxima criticidad de una planta desmotadora de algodón*. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Ingeniería.

Torell, W. (2004). *Tiempo medio entre fallas: explicación y estándares*. American Power Conversion.

12 Anexos

12.1 Anexo 1. Auditoría MES



Encuesta sobre la efectividad del mantenimiento (MES)

Nombre: _____

Puesto: _____ Fecha: ___/___/_____

La siguiente encuesta trata sobre la efectividad con que se aplica el mantenimiento en las distintas áreas que abarca el departamento.

Para la calificación utilice la siguiente escala: 1 = muy deficiente, 2 = deficiente, 3 = regular, 4 = bueno, 5 = excelente y NS/NA = no sabe/no aplica

Recursos Gerenciales

Preguntas a evaluar	1	2	3	4	5	NNS/NA
1. ¿Usted siente que el departamento de mantenimiento está capacitado para realizar su trabajo?						
2. ¿Conoce la estructura del mantenimiento? ¿Parece ser lógica y favorece al cumplimiento de las actividades de mantenimiento?						
3. ¿La organización le ayuda a eliminar las barreras que como parte del personal de mantenimiento encuentra en su trabajo y de las cuales no tiene control?						
4. ¿La jefatura estimula a mantenimiento a alcanzar las metas de producción?						
5. ¿La jefatura estimula a los operadores a que ayude a mantenimiento en la realización de sus actividades?						

6. ¿Se desarrollan equipos de trabajo (mantenimiento y producción), para resolver tópicos que afectan a ambos departamentos?						
7. ¿La jefatura estimula al personal de mantenimiento (mecánicos, eléctricos) y a los operadores a que trabajen juntos en la resolución de problemas que afectan la disponibilidad de sus procesos?						
8. ¿Cómo parte del personal de mantenimiento considera que posee las habilidades necesarias para realizar sus trabajos?						
9. ¿Los trabajadores en general han recibido el adiestramiento requerido para sus áreas de trabajo?						
10. ¿La jefatura involucra a todo el personal de mantenimiento en la definición de sus objetivos y metas a cumplir?						
11. ¿La jefatura revisa y le hace seguimiento a los objetivos de la planta en reuniones de trabajo con el personal de mantenimiento y operadores?						
12. ¿Los objetivos del mantenimiento están alineados con la visión y misión del negocio?						
Puntuación total por criterio						

Para la calificación utilice la siguiente escala: 1 = muy deficiente, 2 = deficiente, 3 = regular, 4 = bueno, 5 = excelente y NS/NA = no sabe/no aplica

Gerencia de la Información (software de mantenimiento)

Preguntas a evaluar	1	2	3	4	5	NS/NA
13. ¿La organización utiliza de forma eficiente el sistema computarizado de gestión del mantenimiento (APIPRO)?						
14. ¿Está cada componente identificado, codificado y asociado a un sistema dentro de toda la planta?						
15. ¿La organización mantiene actualizado en cuanto a la información de la empresa el APIPRO?						
16. ¿Ha sido el personal debidamente entrenado para su uso?						
17. ¿Lo organización mantiene registros precisos de fallas de sus sistemas?						
18. ¿Están los inventarios de repuestos actualizados dentro del APIPRO?						
19. ¿Se toman decisiones a partir de los reportes generados por él?						
20. ¿La organización estima y le hace seguimiento a los costos de mantenimiento?						
21. ¿La organización evalúa los tiempos operativos y fuera de servicio?						
22. ¿La organización de mantenimiento se compara contra otras organizaciones para medir su desempeño?						
23. ¿El tiempo de realización del mantenimiento es registrado correctamente y evaluado?						
24. ¿La jefatura de mantenimiento utiliza algún tipo de medida de comparación (costos de mantenimiento/costes de producción)?						
Puntuación total por criterio						

Para la calificación utilice la siguiente escala: 1 = muy deficiente, 2 = deficiente, 3 = regular, 4 = bueno, 5 = excelente y NS/NA = no sabe/no aplica

Equipos y técnicas de mantenimiento preventivo

Preguntas a evaluar	1	2	3	4	5	NS/NA
25. ¿La organización utiliza órdenes de trabajo para las actividades de mantenimiento preventivo?						
26. ¿Se revisan periódicamente los planes de mantenimiento preventivo, aumento/descenso, necesidades de adiestramiento, etc.?						
27. ¿La organización tiene personal de mantenimiento dedicado exclusivamente a realizar actividades de mantenimiento preventivo?						
28. ¿Los operadores ayudan en las actividades de mantenimiento menor (limpieza, lubricación, ajustes e inspección visual)?						
29. ¿La organización utiliza técnicas de mantenimiento predictivo (vibración, análisis de aceite, ultrasonido, etc.)?						
30. ¿La organización le hace seguimiento a los costos de mantenimiento preventivo y predictivo?						
31. ¿El grupo de operación permiten que el personal de mantenimiento tenga acceso a los equipos en las fechas estimadas de mantenimiento preventivo?						
32. ¿La organización tiene la cultura de analizar y evitar las fallas repetitivas?						
33. ¿Se incluye al personal de mantenimiento y producción en el proceso de evaluación de equipos nuevos?						
34. ¿Se adiestra de forma adecuada a las personas que van a operar los equipos nuevos?						
35. ¿Se adiestra de forma adecuada a las personas que van a mantener los equipos nuevos?						
36. ¿La organización hace seguimiento y evalúa los costos de operación y mantenimiento, a lo largo del ciclo de vida de sus activos?						
Puntuación total por criterio						

Para la calificación utilice la siguiente escala: 1 = muy deficiente, 2 = deficiente, 3 = regular, 4 = bueno, 5 = excelente y NS/NA = no sabe/no aplica

Planificación y ejecución

Preguntas a evaluar	1	2	3	4	5	NS/NA
37. ¿Existe una adecuada planificación de las actividades de mantenimiento correctivo/preventivo?						
38. ¿La organización utiliza órdenes de trabajo para las actividades correctivas?						
39. ¿Se le hace seguimiento a la ejecución de las actividades de mantenimiento correctivo/preventivo en cuanto a tiempo y mano de obra?						
40. ¿La organización controla el sobre tiempo (adicional al planificado)?						
41. ¿La organización registra la información obtenida por la ejecución de la actividad de mantenimiento (correctiva/preventiva)?						
42. ¿Son los trabajadores de mantenimiento asignados a las distintas labores en función de sus conocimientos y habilidades?						
43. ¿Son las actividades correctivas bien planificadas antes de ejecutarse?						
44. ¿La organización utiliza planificadores de mantenimiento para preparar el alcance de mantenimientos mayores?						
45. ¿La organización utiliza contratistas especializados para realizar labores de mantenimiento subcontratado?						
46. ¿La organización participa en la definición de las actividades de trabajo y en la estimación de tiempos de ejecución de los contratistas?						
47. ¿Se tiene en cuenta el impacto (seguridad, ambiente y producción) que tiene el sistema en el cual se va a ejecutar el mantenimiento?						
48. ¿Se define el camino crítico de los mantenimientos mayores y se identifican los repuestos críticos?						
Puntuación total por criterio						

Para la calificación utilice la siguiente escala: 1 = muy deficiente, 2 = deficiente, 3 = regular, 4 = bueno, 5 = excelente y NS/NA = no sabe/no aplica

Soporte, Calidad y Motivación.

Preguntas a evaluar	1	2	3	4	5	NS/NA
49. ¿Se planifican correctamente los materiales e insumos a la hora de ejecutar actividades de mantenimiento?						
50. ¿Está el almacén de repuestos bien organizado y sus tiempos de respuesta son eficientes?						
51. ¿Se controla bien la salida y entrada de repuestos al almacén?						
52. ¿Se tiene un proceso de cuantificación de stock de repuestos que incluya el criterio del impacto de no tener el repuesto en almacén?						
53. ¿Se tienen identificados los tiempos de reposición y los costos de los repuestos?						
54. ¿El criterio de calidad en el desarrollo de las actividades de mantenimiento está por encima del criterio de rapidez?						
55. ¿Se tiene un proceso que permita verificar la calidad de las actividades de mantenimiento ejecutadas?						
56. ¿Es la calidad en el área de mantenimiento un objetivo importante?						
57. ¿Tiene la organización un interés real en satisfacer las diferentes necesidades de sus trabajadores?						
58. ¿El buen desempeño como trabajador es bien recompensado dentro de la organización (económico - motivacional)?						
59. Como personal de mantenimiento ¿Se siente motivado para realizar su trabajo lo mejor posible?						
60. ¿El personal de mantenimiento sigue las políticas y procedimientos de seguridad?						
Puntuación total por criterio						

12.2 Anexo 2. Auditoría 5S

Evaluación Planta Torito

AREA: Bodega General

FECHA:

ELEMENTOS	N°	Aspectos a evaluar	Verificación	Puntuación									
				10	8	6	4	2	0	N / A			
1	1	Objetos necesarios	¿Se cuenta estrictamente con los objetos necesarios para realizar el trabajo?									x	
2	2	Ropa de trabajo	¿Está en buen estado y completa?									x	
3	3	Seguridad	¿Se cuenta con el equipo de seguridad requerido?									x	
4			¿Los implementos de seguridad están limpios y completos?										x
5			¿Se coloca adecuadamente el EPP? (Demuestre)										x
6			¿Se encuentra el EPP en buen estado?										x
7			¿Los implementos de seguridad se utilizan adecuadamente?										x
8			¿Los extintores se encuentran limpios y libres de obstáculos?			6							
9			¿Se cuenta con extintor cargado y se indica la fecha de la próxima recarga?				4						
10			¿Se encuentra el extintor debidamente identificado y bien ubicado?			6							
11			¿Se cuenta con lámparas de emergencia limpias y en buen estado?					4					
12			¿Se encuentra las lámparas de emergencia debidamente colocadas?	10									
13	¿Se encuentran libres de obstáculos?	10											

14			¿Existen las rutas de evacuación señalizadas con su respectiva rotulación?							0	
15			¿Existen recipientes con productos químicos sin su debida identificación etiqueta MAT-PEL?								x
16	4	Maquinaria	¿Están limpios?								x
17			¿Se encuentran con los cobertores de seguridad y/o aislantes?								x
18			¿Se encuentran los cobertores en buen estado y pintados adecuadamente (color amarillo)?								x
19			¿Se cuenta con accesos seguros a las máquinas? (Presencia de obstáculos o bordes peligrosos)								x
20			¿Se encuentran pintados?								x
21			¿Presentan fugas o derrames?								x
22			¿Se encuentra en buen estado ?								x
23			¿Se encuentran las máquinas debidamente identificadas?								0
24	5	Herramientas	¿Se encuentra localizado en un área: señalizada y rotulado?						2		
25			¿Se utilizan adecuadamente? (Comprobar)								x
26			¿Se encuentran en buen estado?	8							
27	6	Tuberías	¿Están limpias?	10							
28			¿Están pintadas adecuadamente según su fluido?	10							
29			¿Están distribuidos en forma ordenada y segura?	10							
30			¿Cuenta con aislamientos (si lo requiere)?	10							

31			¿Se encuentran libres de fugas?	10									
32			¿Señala el sentido del flujo?									x	
33			¿Cuenta con la rotulación de su contenido?							0			
34	7	Otros Materiales	¿Segregan adecuadamente los desechos?	10									
35			¿Están localizados en un lugar conveniente y etiquetados para su fácil acceso?	10									
36	8	Escritorios, archivos y papeleras	¿Están limpios y organizados por dentro y por fuera?									x	
37			¿Existen objetos debajo del escritorio?										x
38			¿Existen artículos innecesarios en las gavetas?										x
39			¿Están los artículos debidamente acomodados en las gavetas?										x
40			¿Se encuentra el escritorio limpio y buen estado?									x	
41	9	Sillas	¿Se encuentra limpia?									x	
42			¿Se encuentra estable y en buenas condiciones?										x
43	10	Piso	¿Se encuentran limpios?							2			
44			¿Pisos sin hoyos y sin grietas?		8								
45	11	Pasillos	¿Se encuentran demarcados?								0		
46			¿Se encuentran sin obstrucciones?	10									
47			¿El ancho de los pasillos principales y secundarios es el adecuado? (1,20 y 0,90 m)	10									
48	12	Estructura	¿Se encuentran las paredes limpias y en buen estado?	10									
49			¿Se encuentran las puertas en buen estado y limpias?		8								
50			¿Se encuentra el techo o cielorraso en buen estado?	10									
51			¿Se encuentra el cielorraso pintado?										x
52	13	Escaleras fijas	¿Se encuentran pintadas limpias y en buenas condiciones estructurales?									x	

12.3 Anexo 3. Mejoramiento del 5S

Evaluación Planta Torito

AREA: Bodega General

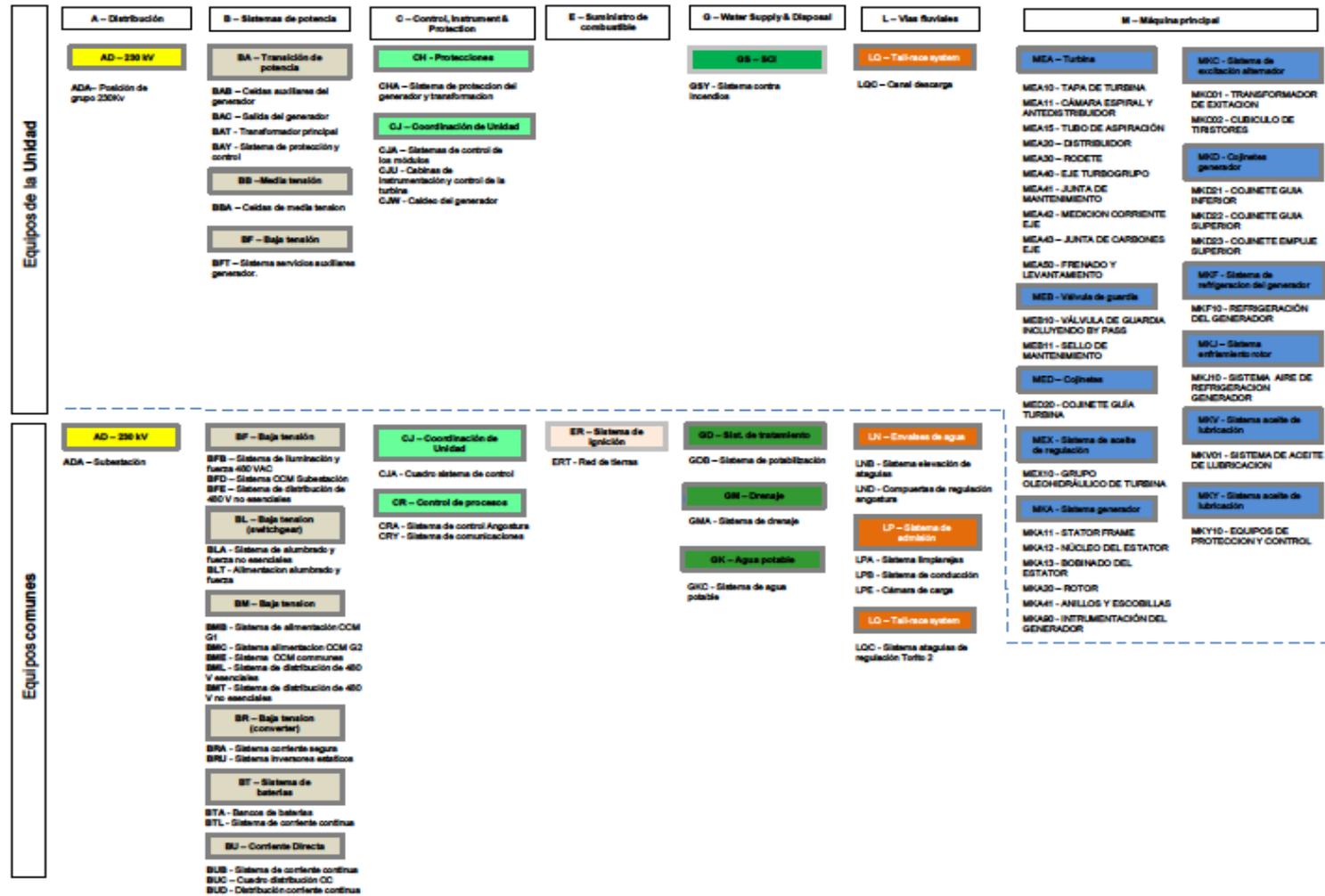
FECHA:

ELEMENTOS	N°	Aspectos a evaluar	Verificación	Puntuación									
				10	8	6	4	2	0	N/A			
1	1	Objetos necesarios	¿Se cuenta estrictamente con los objetos necesarios para realizar el trabajo?									x	
2	2	Ropa de trabajo	¿Está en buen estado y completa?									x	
3	3	Seguridad	¿Se cuenta con el equipo de seguridad requerido?									x	
4			¿Los implementos de seguridad están limpios y completos?										x
5			¿Se coloca adecuadamente el EPP? (Demuestre)										x
6			¿Se encuentra el EPP en buen estado?										x
7			¿Los implementos de seguridad se utilizan adecuadamente?										x
8			¿Los extintores se encuentran limpios y libres de obstáculos?	10									
9			¿Se cuenta con extintor cargado y se indica la fecha de la próxima recarga?	10									
10			¿Se encuentra el extintor debidamente identificado y bien ubicado?	10									
11			¿Se cuenta con lámparas de emergencia limpias y en buen estado?	10									
12			¿Se encuentra las lámparas de emergencia debidamente colocadas?	10									

13			¿Se encuentran libres de obstáculos?	10										
14			¿Existen las rutas de evacuación señalizadas con su respectiva rotulación?	10										
15			¿Existen recipientes con productos químicos sin su debida identificación etiqueta MAT-PEL?										x	
16	4	Maquinaria	¿Están limpios?										x	
17			¿Se encuentran con los cobertores de seguridad y/o aislantes?											x
18			¿Se encuentran los cobertores en buen estado y pintados adecuadamente (color amarillo)?											x
19			¿Se cuenta con accesos seguros a las máquinas? (Presencia de obstáculos o bordes peligrosos)											x
20			¿Se encuentran pintados?											x
21			¿Presentan fugas o derrames?											x
22			¿Se encuentra en buen estado ?											x
23			¿Se encuentran las máquinas debidamente identificadas?			10								
24	5	Herramientas	¿Se encuentra localizado en un área: señalizada y rotulado?							2				
25			¿Se utilizan adecuadamente?(Comprobar)										x	
26			¿Se encuentran en buen estado?			10								
27	6	Tuberías	¿Están limpias?											
28			¿Están pintadas adecuadamente según su fluido?											
29			¿Están distribuidos en forma ordenada y segura?			10								

30			¿Cuenta con aislamientos (si lo requiere)?	10																
31			¿Se encuentran libres de fugas?	10																
32			¿Señala el sentido del flujo?																x	
33			¿Cuenta con la rotulación de su contenido?	10																
34	7	Otros Materiales	¿Segregan adecuadamente los desechos?	10																
35			¿Están localizados en un lugar conveniente y etiquetados para su fácil acceso?	10																
36	8	Escritorios, archivos y papeleras	¿Están limpios y organizados por dentro y por fuera?																x	
37			¿Existen objetos debajo del escritorio?																	x
38			¿Existen artículos innecesarios en las gavetas?																	x
39			¿Están los artículos debidamente acomodados en las gavetas?																	x
40			¿Se encuentra el escritorio limpio y buen estado?																	x
41	9	Sillas	¿Se encuentra limpia?																x	
42			¿Se encuentra estable y en buenas condiciones?																x	
43	10	Piso	¿Se encuentran limpios?	10																
44			¿Pisos sin hoyos y sin grietas?		8															
45	11	Pasillos	¿Se encuentran demarcados?	10																
46			¿Se encuentran sin obstrucciones?	10																
47			¿El ancho de los pasillos principales y secundarios es el adecuado? (1,20 y 0,90 m)	10																
48	12	Estructura	¿Se encuentran las paredes limpias y en buen estado?	10																
49			¿Se encuentran las puertas en buen estado y limpias?	10																
50			¿Se encuentra el techo o cielorazo en buen estado?	10																
51			¿Se encuentra el cielorazo pintado?																	x

12.5 Anexo 5. Codificación KKS Torito



12.6 Anexo 6. Codificación La Joya

	00	SISTEMAS GENERALES
00	00ACV	Aire acondicionado y ventilación
00ACV	00ACV010AC	Unidad de aire acondicionado N°10
00	00ASG	Agua servicios generales
00ASG	00ASG001PO	Sistema agua potable casa de máquinas
00ASG001PO	00ASG001PO-B01	Bomba poso agua de servicios
00ASG001PO	00ASG001PO-B02	Bomba principal agua de servicios
00ASG001PO	00ASG001PO-B03	Bomba auxiliar agua de servicios
00ASG001PO	00ASG001PO-P01	Poso agua de servicios
00ASG001PO	00ASG001PO-T01	Tanque almacenamiento agua de servicios
00ASG001PO	00ASG001PO-U01	Sistema UV N°1 agua de servicios
00ASG001PO	00ASG001PO-U02	Sistema UV N°2 agua de servicios
00	00CAG	Caminos y accesos generales
00CAG	00CAG001CM	Camino de acceso el oso a casa máquinas
00CAG	00CAG002CM	Camino de acceso oriente a casa máquinas
00	00EDI	Edificios Industriales
00EDI	00EDI001BP	Edificio bodega pesados y químicos
00EDI	00EDI001CM	Edificio casa de máquinas
00EDI	00EDI001CO	Edificio comedor
00EDI	00EDI001CV	Edificios casetas de vigilancia
00EDI	00EDI001ET	Equipos y talleres generales
00EDI001ET	00EDI001ET-GR	Polipastos auxiliares
00EDI001ET	00EDI001ET-MQ	Máquinas de taller
00EDI001ET	00EDI001ET-MS	Máquinas de soldar
00EDI001ET-MS	00EDI001ET-MS-GAS	Máquina de soldar con generador gasolina
00EDI	00EDI001TC	Edificios tanque de carga
00EDI	00EDI002TC	Edificios tanque de cabecera
00	00EME	Equipos de medición y ensayos
00	00ETI	Equipos tecnología de la información
00ETI	00ETI001SR	Equipos servidores
00ETI	00ETI001TE	Telefonía
00ETI	00ETI002PC	Computadores personales
00	00HG	Obras hidráulicas generales
00HG	00HGDES	Canal de descarga
00HG	00HGTFO	Tubería forzada
00HG	00HGTUN	Túnel de conducción
00	00KIT	Sistema control general
00KIT	00KIT001AR	Armario comunicaciones
00KIT	00KIT001HK	Estación de operación 1
00KIT	00KIT001UZ	CCAD Estación de ingeniero
00KIT	00KIT002HK	Estación de operación 2
00	00LTR	Sistema de puesta a tierra
00	00SEG	Seguridad
00SEG	00SEG001CA	Cámaras y alarmas de seguridad

12.7 Anexo 7. Análisis de Criticidad La Joya

Análisis de Criticidad de sistemas Planta La Joya

Nombre del OM		Impacto en la disponibilidad			Daño al ambiente			Seguridad		
		Paro inmediato	Posible paro	No afecta	Severo	Leve	No afecta	Riesgo de muerte	Lesión/ Incapacidad	No afecta
SISTEMAS GENERALES	Aire acondicionado y ventilación			✓			✓			✓
	Agua servicios generales			✓			✓			✓
	Caminos y accesos generales			✓			✓			✓
	Equipos tecnología de la información			✓			✓			✓
	Obras hidráulicas generales		✓			✓				✓
	Sistema control general		✓				✓			✓
	Sistema de puesta a tierra			✓			✓		✓	
GRUPOS (unidades generadoras)	Descarga de grupo		✓				✓			✓
	Sistemas generador		✓				✓			✓
	Transformador de potencia		✓			✓			✓	
	Sistema de excitación	✓					✓			✓
	Grupo oleo hidráulico	✓				✓				✓
	Sistema control de grupo	✓					✓			✓
	Sistema de turbina	✓					✓			✓
	Válvula de guardia	✓					✓			✓
	Sistema contra incendios generador	✓					✓	✓		
	Sistema contra incendios del transformador principal	✓					✓		✓	
	Sistemas auxiliares de grupo		✓				✓			✓
	Sistema de frenado		✓				✓			✓
	Sistema aire comprimido de grupo		✓				✓			✓
Sistema refrigeración de grupo		✓				✓			✓	
SISTEMAS COMUNES	Canal de descarga			✓			✓			✓
	Manejo de cargas			✓			✓		✓	
	Sistema contra incendios casa de máquinas			✓			✓			✓

	Sistema BIEX – hidrantes extintores portátiles y rociadores			✓			✓			✓
	Sistema agua pulverizada transformadores	✓					✓			✓
	Sistemas comunes		✓				✓			✓
	Sistema auxiliar corriente continua		✓				✓			✓
	Sistema auxiliar corriente alterna		✓				✓			✓
	Grupo diésel de emergencia			✓			✓			✓
	Sistema corriente segura		✓				✓			✓
	Sistema aire comprimido general			✓			✓			✓
	Sistema de refrigeración circuito primario		✓				✓			✓
	Sistema drenaje y vaciado		✓				✓			✓
	Tableros de alimentación general edificios			✓			✓		✓	
	Sistema aire acondicionado y ventilación			✓			✓			✓
TANQUE DE CABECERA	Tanque de cabecera		✓				✓			✓
CÁMARA DE CARGA	Cámara de carga		✓				✓			✓
SUBESTACIÓN	Barras 01038 KV	✓					✓		✓	
	Posición de línea	✓					✓		✓	
	Posición de grupo 01	✓					✓		✓	

12.8 Anexo 8. Análisis de criticidad Torito

Análisis de Criticidad de sistemas Planta Torito

Nombre del OM		Impacto en la disponibilidad			Daño al ambiente			Seguridad		
		Paro inmediato	Posible paro	No afecta	Severo	Leve	No afecta	Riesgo de muerte	Lesión/Incapacidad	No afecta
DISTRIBUCIÓN	Subestación 230 kv	✓					✓	✓		
SISTEMAS DE POTENCIA	Transición de Potencia	✓					✓	✓		
	Media Tensión		✓				✓		✓	
	Baja Tensión		✓				✓		✓	
	Sistema de Baterías	✓				✓			✓	
	Corriente Directa	✓					✓			✓
INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL	Protecciones	✓					✓			✓
	Coordinación de Unidad			✓			✓			✓
	Control de Procesos			✓			✓			✓
SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE	Sistema de Ignición			✓		✓			✓	
SUMINISTRO DE AGUA Y DRENAJE	Sistema contra Incendios			✓			✓			✓
	Sistema de Tratamiento			✓			✓			✓
	Drenaje		✓			✓				✓
	Agua Potable			✓			✓			✓
VÍAS FLUVIALES	Canal de Descarga			✓			✓			✓
	Embalses de Agua		✓				✓			✓
	Sistemas de Admisión		✓				✓			✓
MÁQUINA PRINCIPAL	Turbina	✓					✓			✓
	Válvula de Guardia	✓					✓			✓
	Cojinetes		✓			✓				✓
	Sistema de aceite de Regulación		✓			✓		✓		
	Sistema Generador	✓					✓			✓
	Sistema de excitación alternador		✓				✓		✓	
	Cojinetes Generador		✓			✓				✓
	Sistema de refrigeración del generador		✓				✓			✓
	Sistema enfriamiento Rotor		✓				✓			✓
	Sistema aceite de Lubricación			✓		✓				✓
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	Sistema circulación de agua	✓					✓			✓

	Circuito cerrado de agua	✓					✓			✓
SISTEMAS AUXILIARES	Compresor general de aire		✓				✓			✓
	Sistema contra incendios estacionario			✓			✓			✓
	Calefacción, ventilación			✓			✓			✓
	Grúa			✓			✓		✓	
ESTRUCTURAS			✓			✓			✓	
MAQUINARÍA PESADA	Planta de Generación			✓			✓			✓

12.9 Anexo 9. Formato M0068

operations &
maintenance



CALIBRACIÓN DE NIVELES COJINTE DE TURBINA

DENOMINACIÓN/MODELO/SERIE EQUIPO MEDIDOR	Nº ORDEN DE TRABAJO (OT):
REALIZADO POR:	FECHA:

PRUEBA DE NIVELES		NIVEL ACTUACIÓN			RESULTADO
Nº CÓDIGO	NIVEL DE REFERENCIA	NIVEL (mm)	ESTADO INSTRUM	VALOR SCADA	
GTU_C56_55DI				N-BAJO	
				BAJO	
GTU_C57_41DI				N-ALTO	
				ALTO	
		PATRÓN			
GTU_C73_55DI				N-BAJO	
				BAJO	

12.11 Anexo 11. Formato M 0008

CENTRAL HIDROELECTRICA LA JOYA

AJUSTE APERTURA DISTRIBUIDOR

Apertura Distribuidor %	Apertura distribuidor (mm)		Lazo de Corriente Apertura (X1/25)		Cuentas Neypic Menú 14		Cuentas Neypic Menú 01		Apertura Reloj Cuadro Turbina		Apertura SCADA	
	Encontrado	Ajustado	Encontrado	Ajustado	Encontrado	Ajustado	Encontrado	Ajustado	Encontrado	Ajustado	Encontrado	Ajustado
0												
25												
50												
75												
100												
75												
50												
25												
0												

GRABAR EL RESULTADO DE LA APERTURA Y CIERRE EN EL STATUS:

NOMBRE ARCHIVO APERTURA: _____

NOMBRE ARCHIVO CIERRE: _____

Nº OT	Equipo de Medición	Ejecutor	Nombre	Firma
Fecha		Jefe O&M		

12.12 Anexo 12. Formato M 0009

CENTRAL HIDROELECTRICA LA JOYA

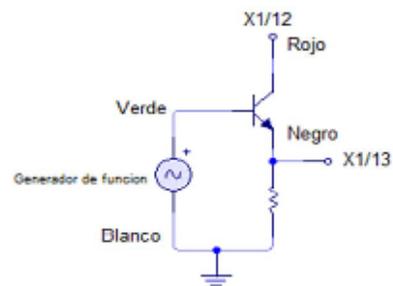
AJUSTE DE VELOCIDAD NEYRPIC 1000

Frecuencia			
Inyectada			Lectura
Frecuencia (%)	Frecuencia (Hz) X1/12-13	Velocidad equiv. (rpm)	Neypic (1/1000)
0	0		
25	17.1429		
50	34.2857		
75	51.4286		
100	68.5714		
120	82.2857		

Corriente		
Inyectada mA X1/22	Lectura	
	C.C. Grupo (rpm)	SCADA (rpm)

Frecuencia de activación relé RS1 (Hz) X1/38-37

120%



Nota: Rueda dentada con 8 dientes. Frecuencia (Hz)=Velocidad(rpm)*8/60

N° OT	Equipo de Medición	Ejecutor	Nombre	Firma
Fecha		Jefe O&M		

12.13 Anexo 13. Formato M 0010

CENTRAL HIDROELECTRICA LA JOYA

AJUSTE POTENCIA Y LAZO DE GRUPO

VERIFICACION DE VELOCIDAD

Prueba de marcha en vacío			Prueba sincronismo		
SCADA		Frecuencia Hz (X1/12-13)	SCADA		Frecuencia Hz (X1/12-13)
Apertura (%)	Velocidad (rpm)		Apertura (%)	Velocidad (rpm)	

MARCHA SINCRONIZADA

Regulación Potencia

%	Lecturas de Consigna Potencia			Lecturas de Potencia			Lecturas de Apertura Distribuidor			
	SCADA (kW)	Neypic		SCADA (kW)	Neypic		SCADA (%)	Neypic		C.C. Turbina (%)
		(1/1000)	(mA) X1/20		(1/1000)	(mA) X1/18		(1/1000)	(mA) X1/25	
MIN										
25 (5000)										
50 (10000)										
75 (15000)										
100 (20000)										

Regulación Apertura

%	Lecturas de Consigna Apertura Distribuidor			Lecturas de Potencia			Lecturas de Apertura Distribuidor			
	SCADA (%)	Neypic		SCADA (kW)	Neypic		SCADA (%)	Neypic		C.C. Turbina (%)
		(1/1000)	(mA) X1/20		(1/1000)	(mA) X1/18		(1/1000)	(mA) X1/25	
33										
50										
75										
100										

Adjuntar lista de parámetros de ajuste del regulador actuales y curvas

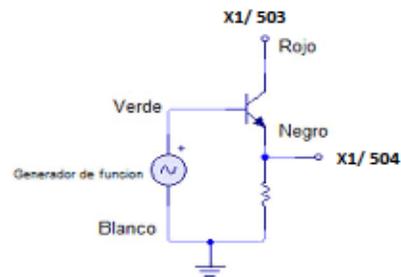
Nº OT	Equipo de Medición	Ejecutor	Nombre	Firma
Fecha		Jefe O&M		

12.14 Anexo 14. Formato M 0011

CENTRAL HIDROELÉCTRICA LA JOYA

CADENA TACOMÉTRICA (ADT 1000)

Velocidad en señal de entrada de frecuencia a cadena tacométrica						
Teórico Relé	<20 RV15	<80 RV16	<90 RV17	Parado RV202	<120 RV18	<130 RV34
Borne	X1/518-517	X1/515-514	X1/512-511	X1/524-523	X1/509-508	X1/521-520
Frecuencia (Hz)						
Velocidad (rpm)						



Nº OT	Equipo de Medición		Nombre	Firma
		Ejecutor		
Fecha		Jefe O&M		

12.15 Anexo 15. Formato M 0040

CENTRAL HIDROELÉCTRICA LA JOYA

INSPECCIÓN MENSUAL MECÁNICA GRUPO REGULACIÓN

BOLETÍN N°: JRGT01

ITEM	DESCRIPCION	SI	NO	Observaciones
1	VISOR DE NIVEL			
1.1	BURBUJA MANCHADA/QUEBRADA			
1.2	TORNILLOS DE SUJECIÓN APRETADOS			
1.3	NIVEL CORRECTO			
2	TUBERIAS			
2.1	TUBERIAS ESTANCAS			
3	FILTROS			
3.1	FILTRO N°1 SUCIO/COLMATADO			
3.2	FILTRO N°2 SUCIO/COLMATADO			
4	MEDICIONES			
4.1	TEMPERATURA DE LA CUBA			°C
4.2	NIVEL DE ACEITE EN LA CUBA			mm
				MBR-1 MBR-2
4.3	PRESION DE ARRANQUE			BAR BAR
4.4	PRESION DE PARADA			BAR BAR
4.5	INTERMITENCIA			min min
4.6	MOTOR EN MARCHA			

N° OT	Equipo de Medición	Ejecutor	Nombre	Firma
Fecha		Jefe O&M		

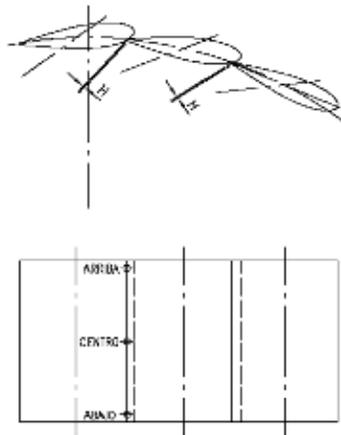
12.16 Anexo 16. Formato M 0003

CENTRAL HIDROELECTRICA LA JOYA

HOLGURA DISTRIBUIDOR CERRADO

HOLGURA DE DIRECTRICES CON DISTRIBUIDOR CERRADO

ESQUEMA-DEFINICIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDIDA



HOLGURA	
NOMINAL	0.00 mm
TOLERANCIA	$\Sigma < 1.00$ mm

Número Directriz	Arriba	Centro	Abajo
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
Σ			

Observaciones:

Nº OT	Equipo de Medición	Nombre	Firma
		Ejecutor	
Fecha		Jefe O&M	

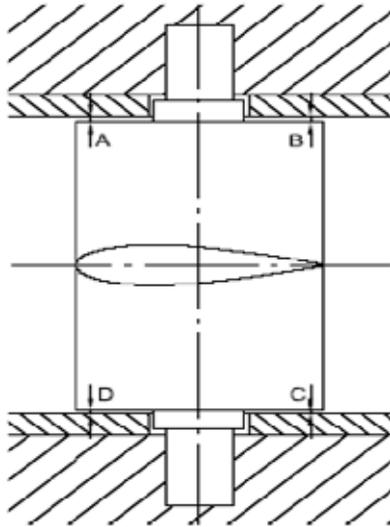
12.17 Anexo 17. Formato M 0004

CENTRAL HIDROELECTRICA LA JOYA

DIRECTRICES VS PLACAS (CERRADO)

HOLGURA AXIAL ENTRE ALABES DIRECTORES Y PLACAS DE DESGASTE (DISTRIBUIDOR CERRADO)

ESQUEMA-DEFINICIÓN DE
LOS PUNTOS DE MEDIDA



HOLGURA

NOMINAL	0.25 mm
TOLERANCIA	+/- 0.05 mm
MAXIMA	0.30 mm
MINIMA	0.20 mm

Número Directriz	A	B	C	D
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
Σ				

Observaciones:

N° OT	Equipo de Medición	Ejecutor	Nombre	Firma
Fecha		Jefe O&M		

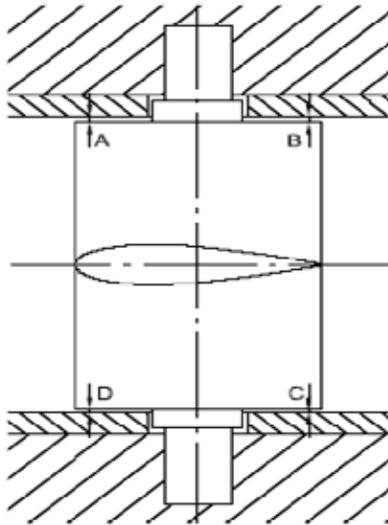
12.18 Anexo 18. Formato M 0005

CENTRAL HIDROELECTRICA LA JOYA

DIRECTRICES VS PLACAS (ABIERTO)

HOLGURA AXIAL ENTRE ALABES DIRECTORES Y PLACAS DE DESGASTE (DISTRIBUIDOR ABIERTO)

ESQUEMA-DEFINICIÓN DE
LOS PUNTOS DE MEDIDA



HOLGURA

NOMINAL	0.25 mm
TOLERANCIA	+/- 0.05 mm
MAXIMA	0.30 mm
MINIMA	0.20 mm

Número Directriz	A	B	C	D
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
Σ				

Observaciones:

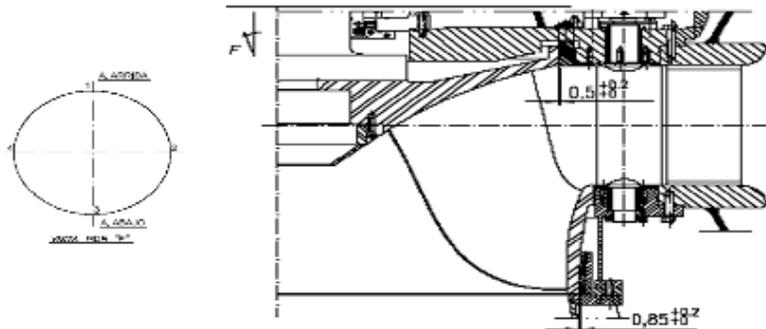
N° OT	Equipo de Medición	Ejecutor	Nombre	Firma
Fecha		Jefe O&M		

12.19 Anexo 19. Formato M 0006

CENTRAL HIDROELECTRICA LA JOYA

RODETES VS LABERINTOS

RODETES VS LABERINTOS



HOLGURAS LABERINTO SUPERIOR		HOLGURAS LABERINTO INTERMEDIO		HOLGURAS LABERINTO INFERIOR*	
TEORICA 0.6 mm		TEORICA 1.6		TEORICA 0.85	
TOLERANCIA -0,+0.2		TOLERANCIA -0.31,+0.6		TOLERANCIA -0,+0.2	
MÍNIMA 0.6 mm		MÍNIMA 1.19 mm		MÍNIMA 0.85 mm	
MÁXIMA 0.7 mm		MÁXIMA 2.0 mm		MÁXIMA 1.05 mm	
PUNTO	0°	PUNTO	0°	PUNTO	0°
1		1		1	
2		2		2	
3		3		3	
4		4		4	

*LABERINTO INFERIOR SE MIDE SOLO CUANDO SE TENGA QUE DESARMAR EL CONO DE ASPIRACION

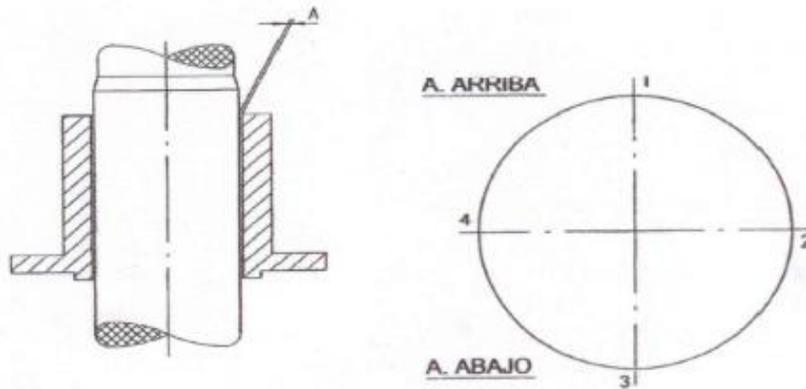
N° OT	Equipo de Medicion	Ejecutor	Nombre	Firma
Fecha		Jefe O&M		

12.20 Anexo 20. Formato M 0052

CENTRAL HIDROELECTRICA LA JOYA

HOLGURA EJE COJINETE DE TURBINA

HOLGURA DE EJE CON COJINETE DE TURBINA



HOLGURAS EJE COJINETE DE TURBINA

	0°
1	
2	
3	
4	

TEORICA 0.15 mm
 TOLERANCIA +/- 0.057
 MÍNIMA 0.093 mm
 MÁXIMA 0.207 mm

Nº OT	Equipo de Medición		Nombre	Firma
		Ejecutor		
Fecha		Jefe O&M		

12.21 Anexo 21. Mantenimiento de cojinete de turbina

MANUAL DE MANTENIMIENTO DE COJINETE TURBINA

**Procedimiento de desensamble y ensamble del cojinete
de turbina**

Central hidroeléctrica La Joya

Elaborado por:

Ever Canales Campos

Formato y Modificaciones:

Kevin Campos Esquivel

Octubre 2018

Implementos de Seguridad

- Lentes de protección
- Calzado de seguridad
- Guante anatómico de cuero o tela
- Equipo de ventilación forzada
- Protección auditiva (tapones u orejeras)
- Casco
- Cinta de demarcación

Documentación

- Orden de Trabajo
- Permiso de Trabajo
- Planos Impresos (se facilitan dentro del foso de turbina)
- Bitácora para documentación
- Cámara fotográfica

Herramientas

- Banco de trabajo
- Estantería
- 4 tecles (capacidad 1 ton, aprox)
- Hidrolavadora
- Pistola de impacto
- Manguera para agua
- Extensión de 110 V
- 2 llaves tipo cañería

- Llave tipo francesa
- Llave coro fija 30mm
- Llave coro fija 32mm
- Taquímetro
- 2 gatas hidráulicas tipo botella
- Juego de cubos Allen
- Caja de herramienta manual
- 2 eslingas
- Moto bomba de extracción de aceite
- Aspiradora
- Cuerda
- 4 grilletes tipo herradura
- 4 tornillos de ojo giratorio
- 2 gatas hidráulicas de pistón

Consumibles

- Cinta teflón
- Sellador de roscas
- Trapos para limpieza
- Cinta tipo maskin
- Repuestos (según sea el caso)

Procedimiento

1. Realizar medición de vibraciones, análisis de aceites o las inspecciones necesarias para determinar la finalidad del desarme del cojinete.
2. Realizar todos los descargos correspondientes a la unidad que va a ser intervenida.
3. Se debe alinear el eje de la unidad en punto 0° y realizar galqueo para obtener puntos de comparación (Según el fabricante el juego radial de montaje debe quedar en +20, +15) entiéndase como el juego entre el eje y la tapa.

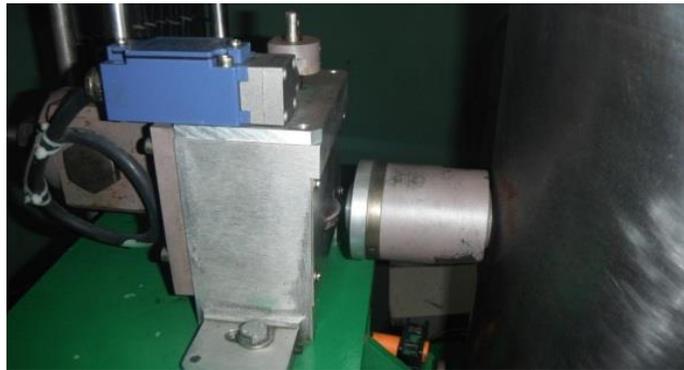


Figura 1. Sensor de posición de eje

4. Limpieza del foso de turbina, colocación de cartones dentro de foso y forrar eje con espuma y plástico adhesivo para evitar golpes a la superficie del eje.



Figura 2. Foso de Turbina

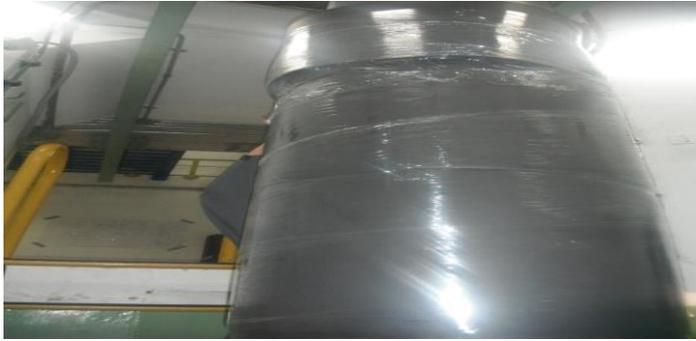


Figura 3. Eje forrado

5. Desmontaje de la instrumentación de control, cableado y accesorios.
6. Desmontar tapas del cobertor de la cuba y tuberías (agua y aceite).



Figura 4. Tuberías de aceite



Figura 5. Tuberías de agua

7. Referenciar la posición de la tapa principal en los cuatro ejes AR, AB, SC y BD antes de desmontarla (La tapa principal es la guía del cojinete esta referencia es una de las más importantes para el ensamble final, no se debe desarmar ningún componente sin marcar su posición original).



Figura 6. Referencia de AR

8. Liberar espárragos para bajar cojinete al piso de la cuba, este procedimiento es de los más delicados ya que el cojinete no debe rosar el eje.
- Sacar todos los tornillos que sujetan la tapa principal al cobertor para manipularla libremente con los tecles, estos tornillos están según plano a un torque de 255Nm.



Figura 7. Tornillos de tapa

- Sacar ocho de los doce espárragos dejando cuatro en los ejes principales AB, AR, SC, BD, posicionar tecles con eslingas para levantar suavemente la tapa principal y así aflojar el cojinete, de esa manera se logra bajar el cojinete nivelado, despacio y suavemente hasta llegar al piso de la cuba (Utilizar barras roscadas M20 para tener una carrera más prolongada hasta abajo).
- Tomar en cuenta que la tornillería de cada componente o accesorio se debe poner en cajas separadas para facilitar el proceso de montaje.



Figura 8. Espárragos de tapa principal

9. Levantar la tapa principal con tecles y eslingas de las juntas de tapa, soltar tuercas de pares de apriete (70Nm) seguidamente aflojar los restantes tornillos.
- Poner barras en los agujeros entre cada mitad de tapa para posicionar los pistones hidráulicos y empujar las mitades hacia afuera para despegarlas.
 - Sacar tapa principal bipartida y posicionarla afuera del foso sobre madera.



Figura 9. Separación de tapa bipartida

10. Referenciar la posición original de la tapa de la cuba en los cuatro ejes AR, AB, SC, BD, similar a lo realizado en la tapa principal, antes de remover tornillería.



Figura 10. Referencia de tapa de cuba

- Realizar un procedimiento similar al de extracción de tapa principal para extraer la tapa de cuba (los tornillos que sujetan la tapa están a un torque de 12Nm y los pares de apriete de la junta están a un torque de 70Nm).



Figura 11. Extracción de tapa de cuba

11. Extraer aceite con bomba de filtrado.



Figura 12. Bomba de filtrado

12. Extracción de cojinete guía de turbina, este proceso es el más delicado de todo el trabajo se debe cuidar al 100% el eje y el cojinete.

- Sacar todos los tornillos cabeza Allen que sujetan la cuba por la parte de abajo (M6, 12Nm), fijar 4 cáncamos M6 en la parte superior de la cuba para nivelar de forma correcta, se levanta cuba y se deja suspendida.



Figura 13. Elevación de cuba

- Soltar los pares de apriete del cojinete (70Nm), aflojar y sacar los tornillos restantes.



Figura 14. Tornillos de cojinete

- Suspende el cojinete unos 5 cm del piso, golpear con mazo de fibra la guía hacia afuera para que el cojinete se separe (en este proceso se necesitan al menos 4 personas para cuidar de no golpear el babbitt contra el eje) posicionar de nuevo el cojinete en el piso y separarlo manualmente para su debida nivelación y extracción cada uno por separado.
- Por ninguna razón los segmentos deben quedar sobre el piso, utilizar madera para colocarlos fuera del foso.



Figura 15. Cojinete bipartido

13. Desmontar piso de la cuba para el cambio de oring, soltar cobertor de junta de carbones, soltar tornillos que sujetan el piso de la cuba, suspender piso de cuba con eslingas.

 - Pegar oring con cemento de contacto a la base del eje y así asegurar que no se mueva durante el montaje del piso, bajar piso de la cuba a su posición original sellar con Loctite 545 para asegurar sellado en las superficies metálicas.



Figura 16. Colocación de Oring

- Realizar cambio de oring que sella la cuba con el piso, este procedimiento es similar al anterior.



Figura 17. Oring de piso

14. Realizar pruebas de ensayos no destructivos (tintas penetrantes y ultrasonido), limpieza minuciosa de los segmentos del cojinete, limpieza de tornillería, limpieza de todas las tapas, rectificación de roscas con machos tarrajas, limpieza y soplado de radiadores.



Figura 18. Prueba de tintas penetrantes

15. Montaje de cojinete, nivelacion fuera del foso y se procede hacer el montaje de los segmentos.



Figura 19. Ensamblaje segmento 1



Figura 20. Acople segmento 2

- Los pares de apriete deben quedar a 70Nm (parámetros del plano).

16. Ensamble de la cuba, bajar cuba con tecles hasta el piso, con ayuda de tecles pequeños se logra bajar de forma pareja poniendolos en los 4 ejes principales BD,SC,AR,AB, poner loctite 545 en las superficies metalicas para lograr un mejor sellado.



Figura 21. Descenso de cuba

17. Ensamblar tapa de cuba y cambio de junta tórica (oring) de 8mm de \varnothing , los pares de apriete de la tapa deben quedar en 70Nm. Los tornillos de sujeción de la tapa deben quedar en 12Nm.
- Tomar en cuenta las referencias tomadas antes del desarme en los 4 ejes AR, AB, SC, BD respetar las medidas originales de montaje.
18. Montaje de la tapa principal y elevación de cojinete, en esta parte del procedimiento para facilitar el montaje es muy importante utilizar las guías, dos van insertadas en el cobertor de cuba (soporte principal de tapa) y las otras dos en el cojinete, las cuales sirven como referencia. Aplicar Loctite 242 en toda la tornillería.
- Los pares de apriete de la tapa principal deben quedar a 70Nm.



Figura 22. Torque de tapa principal

- Elevar el cojinete por medio de los espárragos lentamente y despacio en los ejes principales AR, AB, SC, BD para que el cojinete no roce eje.
- Tomar en cuenta las referencias de la posición original de la tapa antes del desarme, respetar las medidas originales de montaje (proceder a torqulear los tornillos de la tapa principal a 255Nm, los espárragos del cojinete no llevan referencia de torque sin embargo se usa Loctite 242 para sujeción de mediana resistencia).
- Proceder al galqueo del cojinete de turbina referenciado en la medición hecha antes del desarme, tomando en cuenta que el juego radial debe ser de +0.20, +0.15 según el plano.

19. Instalar tuberías todas las tuberías, desmontar visores y cambiar empaques, llenado de cuba con aceite VG 46 hasta el nivel adecuado, girar máquina para comprobar que no hay roces ni ruidos extraños, montaje de instrumentación.



Figura 23. Montaje de tuberías



Figura 24. Montaje de instrumentación

20. Proceder al levantamiento de todos los descargos, montaje de paneles acústicos, puerta principal, recoger y limpiar los alrededores del foso.

12.22 Anexo 22. Formato M 0096

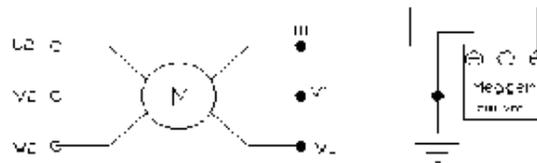


CENTRAL HIDROELÉCTRICA
TORITO

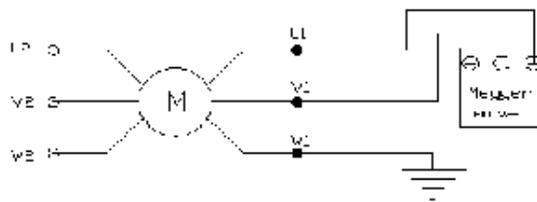
MEDICIÓN DE AISLAMIENTO
DE MOTORES 480VCA

Motor:				Ubicación:		
Tensión de Operación (V):		I. Devanado (°C):			Factor Corrección:	
T. Ambiente (°C):					Humedad Relat. (%):	
MEDICION FASE RESPECTO A MASA (500 Vcc)						
Tiempo (min)	Lectura sin corregir (MΩ)			Lectura corregida a 40°C (MΩ)		
	FASE (U1)	FASE (V1)	FASE (W1)	FASE (U1)	FASE (V1)	FASE (W1)
0.30						
1.00						
INDICE POLARIZACION						
MEDICION ENTRE FASES (500 Vcc)						
Tiempo (min)	Lectura sin corregir (MΩ)			Lectura corregida a 40°C (MΩ)		
	FASE (U1-V1)	FASE (U1-W1)	FASE (V1-W1)	FASE (U1-V1)	FASE (U1-W1)	FASE (V1-W1)
0.30						
1.00						
INDICE POLARIZACION						

RESISTENCIA DE AISLAMIENTO ENTRE BUBINA Y CARCASA



RESISTENCIA DE AISLAMIENTO ENTRE FASES



Importante: Humedad relativa menor del 75% para la prueba
Descargar las fases durante un tiempo mínimo de 4 min

Nº OT	Equipo de Medición	Nombre	Firma
		Ejecutor	
Fecha		Jefe O&M	

12.23 Anexo 23. Formato M 0097



CENTRAL HIDROELÉCTRICA PRUEBA DE MOTORES ELÉCTRICOS TORITO

PRUEBA FUNCIONAL DE MOTOR				
Equipo: _____		KKS: _____		
Tensión Nominal: _____ V		Corriente Nominal: _____ A		
Temp. de placa: _____ °C		Temp. operación: _____		
Comprobaciones previas				
Bornas de conexión: <input type="checkbox"/> Bien <input type="checkbox"/> Mal		Puesta a tierra: <input type="checkbox"/> Bien <input type="checkbox"/> Mal		
Con carga				
V_{R-S} _____ V	I_R _____ A	Setting Prot. Térmica: _____ A		
V_{S-T} _____ V	I_S _____ A	Ajuste <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO		
V_{T-R} _____ V	I_T _____ A			
Vibraciones				
Lado de acople		Lado ventilador		
Radial _____ (mm/s)		Radial _____ (mm/s)		
Axial _____ (mm/s)		Axial _____ (mm/s)		
Ruidos <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO		Ruidos <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO		
Observaciones:				
Nº OT	Equipo de Medición	Ejecutor	Nombre	Firma
Fecha		Jefe O&M		