



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

**“ELABORACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO PARA  
BIBLIOTECA, MODULAR, AULAS, LABORATORIOS DE LA  
CARRERA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO Y TALLER  
DE FUNDICIÓN – ESPOCH APLICANDO LA METODOLOGÍA DE  
MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD”**

**RUIZ BASANTES HARTEMAN DAVID**  
**SUÁREZ QUIJIJE STEVEN CALIXTO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**  
**TIPO: PROYECTO TÉCNICO**

**Previo a la obtención del título de:**  
**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

**Riobamba – Ecuador**  
**2018**

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

---

2018-04-17

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**RUIZ BASANTES HARTEMAN DAVID**

Titulada: **“ELABORACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO PARA BIBLIOTECA, MODULAR, AULAS, LABORATORIOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO Y TALLER DE FUNDICIÓN – ESPOCH APLICANDO LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

---

Ing. Carlos José Santillán Mariño

**DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. César Marcelo Gallegos Londoño

**DIRECTOR DE TESIS**

---

Ing. Sergio Raúl Villacrés Parra

**MIEMBRO DE TESIS**

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

---

2018-04-17

Yo recomiendo que la el Trabajo de Titulación preparado por:

**SUÁREZ QUIJIJE STEVEN CALIXTO**

Titulada: **“ELABORACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO PARA BIBLIOTECA, MODULAR, AULAS, LABORATORIOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO Y TALLER DE FUNDICIÓN – ESPOCH APLICANDO LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

---

Ing. Carlos José Santillán Mariño

**DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. César Marcelo Gallegos Londoño

**DIRECTOR DE TESIS**

---

Ing. Sergio Raúl Villacrés Parra

**MIEMBRO DE TESIS**

---

## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** RUIZ BASANTES HARTEMAN DAVID

**TÍTULO DE LA TESIS:** “ELABORACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO PARA BIBLIOTECA, MODULAR, AULAS, LABORATORIOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO Y TALLER DE FUNDICIÓN – ESPOCH APLICANDO LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD”

**Fecha de Examinación:** 2018-10-23

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. César Marcelo Gallegos Londoño <b>DIRECTOR DE TESIS</b>			
Ing. Sergio Raúl Villacrés Parra <b>MIEMBRO DE TESIS</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

---

## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** SUÁREZ QUIIJE STEVEN CALIXTO

**TÍTULO DE LA TESIS:** “ELABORACIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO PARA BIBLIOTECA, MODULAR, AULAS, LABORATORIOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO Y TALLER DE FUNDICIÓN – ESPOCH APLICANDO LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD”

**Fecha de Examinación:** 2018-10-23

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. César Marcelo Gallegos Londoño <b>DIRECTOR DE TESIS</b>			
Ing. Sergio Raúl Villacrés Parra <b>MIEMBRO DE TESIS</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

**©2018, Ruiz Basantes Harteman David; Suárez Quijije Steven Calixto**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

---

**Ruiz Basantes Harteman David**

**Cédula de identidad: 060410748-2**

---

**Suárez Quijije Steven Calixto**

**Cédula de identidad: 060312150-0**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Nosotros, Steven Calixto Suárez Quijije y Harteman David Ruiz Basantes, declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra autoría y que los resultados obtenidos en el mismo son auténticos y originales. Todos aquellos textos constantes presentes en el documento provenientes de otra fuente son debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos en este Trabajo de Titulación.

---

**Ruiz Basantes Harteman David**

**Cédula de identidad: 060410748-2**

---

**Suárez Quijije Steven Calixto**

**Cédula de identidad: 060312150-0**

# TABLA DE CONTENIDO

## Resumen/Abstract

## Introducción

Pág.

### CAPITULO I

1.	MARCO REFERENCIAL .....	1
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación .....	3
1.3	Objetivos.....	4
1.3.1	<i>Objetivo general.</i> .....	4
1.3.2	<i>Objetivos específicos</i> .....	4

### CAPITULO II

2.	MARCO TEÓRICO .....	5
2.1	Fundamentos teóricos del Proceso Analítico Jerárquico AHP .....	5
2.1.1	<i>Definición.</i> .....	5
2.1.2	<i>Descripción del proceso AHP.</i> .....	5
2.1.2.1	<i>Modelización.</i> .....	5
2.1.2.2	<i>Valoraciones.</i> .....	6
2.1.2.3	<i>Priorización y síntesis.</i> .....	8
2.1.2.4	<i>Análisis de consistencia.</i> .....	8
2.2	Mantenimiento.....	9
2.2.1	<i>Definición.</i> .....	10
2.2.2	<i>Objetivos de mantenimiento.</i> .....	10
2.3	Tipos de mantenimiento. ....	10
2.4	Análisis de criticidad .....	12
2.4.1	<i>Método de análisis de criticidad cualitativo.</i> .....	12
2.4.1.1	<i>Producción</i> .....	13

2.4.1.2	<i>Calidad.</i>	14
2.4.1.3	<i>Mantenimiento.</i>	14
2.4.1.4	<i>Seguridad y medio ambiente.</i>	14
2.5	Modelos de mantenimiento	14
2.5.1	<i>Modelo básico.</i>	14
2.5.2	<i>Modelo condicional.</i>	14
2.5.3	<i>Modelo sistemático.</i>	15
2.5.4	<i>Modelo de alta disponibilidad.</i>	15
2.6	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad	16
2.6.1	<i>Definición.</i>	16
2.6.2	<i>Preguntas básicas del RCM.</i>	16
2.7	Plan de mantenimiento basado en RCM.	17
2.7.1	<i>Definición de plan de mantenimiento.</i>	17
2.7.2	<i>Determinación de los fallos funcionales y fallos técnicos.</i>	18
2.7.2.1	<i>Fallo funcional.</i>	18
2.7.2.2	<i>Fallo técnico.</i>	18
2.7.3	<i>Determinación de los modos de fallo.</i>	19
2.7.4	<i>Estudio de las consecuencias de un fallo: clasificación de fallos.</i>	19
2.7.5	<i>Determinación de medidas preventivas que eviten o amortigüen los efectos de los fallos.</i>	20
2.7.5.1	<i>Tarea de mantenimiento.</i>	20
2.7.5.2	<i>Tareas de inspección.</i>	20
2.7.5.3	<i>Tareas de lubricación.</i>	21
2.7.5.4	<i>Reparación.</i>	21
2.7.5.5	<i>Monitorización de la condición.</i>	21
2.7.5.6	<i>Parada mayor.</i>	21
2.7.6	<i>Determinación de las frecuencias óptimas para cada tarea.</i>	22
2.7.7	<i>Agrupación de las tareas en rutas y gamas de mantenimiento.</i>	22

### **CAPITULO III**

3.	DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.	24
3.1	Evaluación de la gestión de mantenimiento.	24
3.1.1	<i>Criterios y sub-criterios de evaluación.</i>	24
3.1.2	<i>Descripción de criterios y sub-criterios.</i>	25
3.1.2.1	<i>Organización general del mantenimiento.</i>	25

3.1.2.2	<i>Recursos humanos de mantenimiento.</i>	27
3.1.2.3	<i>Control económico de mantenimiento.</i>	27
3.1.2.4	<i>Planificación, programación y control.</i>	28
3.1.2.5	<i>Tercerización de mantenimiento.</i>	29
3.1.2.6	<i>Manejo de inventario para mantenimiento.</i>	29
3.1.3	<i>Selección de especialistas.</i>	30
3.1.3.1	<i>Entrevista de especialistas.</i>	31
3.1.3.2	<i>Tabulación de valoraciones de los entrevistados.</i>	32
3.1.3.3	<i>Reciprocidad de la matriz de comparación pareada.</i>	33
3.1.3.4	<i>Homogeneidad de la matriz de comparación pareada.</i>	33
3.1.3.5	<i>Consistencia de la matriz de comparación pareada.</i>	33
3.1.4	<i>Determinación de las ponderaciones.</i>	36
3.1.5	<i>Determinación de las ponderaciones de los sub-criterios.</i>	39
3.1.6	<i>Instrumento de evaluación para la gestión de mantenimiento.</i>	40
3.2	<i>Plan de mantenimiento centrado en confiabilidad.</i>	43
3.2.1	<i>Inventario técnico de mantenimiento y codificación.</i>	43
3.2.1.1	<i>Estructura jerárquica.</i>	44
3.2.1.2	<i>Codificación.</i>	44
3.1.2.3	<i>Áreas arquitectónicas de los edificios.</i>	45
3.1.2.4	<i>Familia y tipos de equipos.</i>	47
3.1.2.5	<i>Codificación de maquinaria y equipos de talleres y laboratorios.</i>	48
3.1.2.6	<i>Estructura jerárquica de equipos de talleres y laboratorios.</i>	48
3.2.2	<i>Análisis de criticidad.</i>	53
3.2.2.1	<i>Evaluación de la criticidad de la infraestructura civil.</i>	53
3.2.2.2	<i>Evaluación de la criticidad de los equipos de talleres y laboratorios.</i>	59
3.2.3	<i>Selección del modelo de mantenimiento.</i>	66
3.2.4	<i>Análisis de fallos y modos de fallo.</i>	75
3.3	<i>Implementación del Sistema de Gestión de Mantenimiento Asistido por Computador (GMAO).</i>	84
3.3.1	<i>Definición.</i>	84
3.3.2	<i>Generalidades.</i>	84
3.3.3	<i>Descripción del software SisMAC.</i>	84
3.3.4	<i>Implementación del software SisMAC.</i>	84
3.3.4.1	<i>Ingreso al sistema.</i>	84
3.3.4.2	<i>Niveles jerárquicos.</i>	87

3.3.4.3	<i>Ingreso de inventario técnico.</i>	87
3.3.4.4	<i>Asignación de fichas técnicas.</i>	90
3.3.4.5	<i>Asignación de tareas de mantenimiento.</i>	91
3.4	Capacitación al personal técnico en el manejo adecuado del plan de mantenimiento.	94

## **CAPITULO IV**

4.	RESULTADOS DEL PROYECTO TÉCNICO.	95
4.1	Resultados de la evaluación de la gestión de mantenimiento.	95
4.1.1	<i>Evaluación de la gestión de mantenimiento de la ESPOCH.</i>	95
4.1.2	<i>Evaluación de la gestión de mantenimiento a los laboratorios de la facultad de mecánica.</i>	97
4.2	Resultados de la aplicación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad.	100
4.2.1	<i>Tareas de mantenimiento para la infraestructura civil.</i>	100
4.2.2	<i>Tareas de mantenimiento para los equipos de laboratorio de la facultad de mecánica.</i>	104
4.3	Resultados de la programación del software de mantenimiento.	120
4.3.1	<i>Diseño de rutinas de mantenimiento.</i>	120
4.3.1.1	<i>Rutinas cíclicas.</i>	120
4.3.1.2	<i>Rutinas de servicio.</i>	124

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Conclusiones.	126
Recomendaciones.	127
BIBLIOGRAFIA	128

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> Descripción de la escala de Saaty.....	7
<b>Tabla 2-2:</b> Matriz de comparaciones pareadas .....	8
<b>Tabla 3-2:</b> Valores de RI para matrices de diferentes órdenes .....	9
<b>Tabla 4-2:</b> Límites de consistencia .....	9
<b>Tabla 1-3:</b> Criterios y sub-criterios de evaluación y codificación. ....	25
<b>Tabla 2-3:</b> Sub-criterios de Organización general del mantenimiento .....	27
<b>Tabla 3-3:</b> Sub-criterios de Recursos humanos de mantenimiento. ....	27
<b>Tabla 4-3:</b> Sub-criterios de Control económico de mantenimiento.....	28
<b>Tabla 5-3:</b> Sub-criterios de planificación, programación y control. ....	28
<b>Tabla 6-3:</b> Sub-criterio tercerización de mantenimiento. ....	29
<b>Tabla 7-3:</b> Sub-criterio manejo de inventario para mantenimiento. ....	29
<b>Tabla 8-3:</b> Listado de especialistas en la gestión mantenimiento.....	30
<b>Tabla 9-3:</b> Ratios de consistencia. ....	35
<b>Tabla 10-3:</b> Pesos de criterios.....	38
<b>Tabla 11-3:</b> Ponderación de los criterios de la gestión de mantenimiento. ....	39
<b>Tabla 12-3:</b> Categorización de la gestión de mantenimiento.....	42
<b>Tabla 13-3:</b> Clave catastral de los edificios de la Facultad de Mecánica .....	43
<b>Tabla 14-3:</b> Codificación de edificios de la Facultad de Mecánica.....	45
<b>Tabla 15-3:</b> Codificación de áreas .....	45
<b>Tabla 16-3:</b> Listado de sistemas del edificio M-27 .....	46
<b>Tabla 17-3:</b> Familia y tipos de equipo .....	47
<b>Tabla 18-3:</b> Listado de laboratorios y talleres de la Facultad.....	49
<b>Tabla 19-3:</b> Listado de máquinas del laboratorio de Termodinámica Aplicada.....	50
<b>Tabla 20-3:</b> Listado de máquinas del laboratorio de Mecatrónica .....	50
<b>Tabla 21-3:</b> Listado de máquinas del laboratorio de Electricidad I.....	50
<b>Tabla 22-3:</b> Listado de máquinas del laboratorio de Electrónica .....	50
<b>Tabla 23-3:</b> Máquinas del laboratorio de Electricidad II y Máquinas Eléctricas .....	50
<b>Tabla 24-3:</b> Máquinas del taller de Reparaciones de la Facultad de Mecánica.....	51
<b>Tabla 25-3:</b> Listado de máquinas del taller de Fundición.....	51
<b>Tabla 26-3:</b> Listado de máquinas del laboratorio de Tintas Penetrantes .....	51
<b>Tabla 27-3:</b> Listado de máquinas del laboratorio de Generación de Vapor .....	51
<b>Tabla 28-3:</b> Códigos de familia y tipos de equipos de laboratorio .....	52
<b>Tabla 29-3:</b> Matriz de criticidad para infraestructura civil .....	54
<b>Tabla 30-3:</b> Evaluación de criticidad de los sistemas civiles. ....	56
<b>Tabla 31-3:</b> Matriz de criticidad de equipos de talleres y laboratorios.....	59
<b>Tabla 32-3:</b> Evaluación de criticidad de equipos de laboratorio .....	60
<b>Tabla 33-3:</b> Modelo de mantenimiento de los sistemas civiles .....	67
<b>Tabla 34-3:</b> Selección del modelo de mantenimiento de equipos de laboratorio .....	68
<b>Tabla 35-3:</b> Análisis RCM abreviado de equipos civiles .....	76
<b>Tabla 36-3:</b> Análisis RCM abreviado del laboratorio de Termodinámica Aplicada. ....	77
<b>Tabla 37-3:</b> Análisis RCM abreviado del laboratorio de Mecatrónica.....	79

<b>Tabla 38-3:</b> Análisis RCM abreviado del laboratorio de Electricidad I. ....	79
<b>Tabla 39-3:</b> Análisis RCM abreviado del laboratorio de Electrónica.....	80
<b>Tabla 40-3:</b> Análisis RCM del laboratorio de Electricidad II y Máquinas Eléctricas. ..	80
<b>Tabla 41-3:</b> Análisis RCM abreviado del taller de Reparaciones.....	81
<b>Tabla 42-3:</b> Análisis RCM abreviado del taller de fundición.....	81
<b>Tabla 43-3:</b> Análisis RCM abreviado del laboratorio de Tintas Penetrantes. ....	82
<b>Tabla 44-3:</b> Análisis RCM abreviado del laboratorio de Generación de Vapor.....	82
<b>Tabla 45-3:</b> Tipos de tareas de mantenimiento.....	92
<b>Tabla 1-4:</b> Valores de desempeño de la gestión de mantenimiento en la ESPOCH.....	95
<b>Tabla 2-4:</b> Nivel de cumplimiento de la gestión de mantenimiento ESPOCH.....	96
<b>Tabla 3-4:</b> Desempeño de la gestión de mantenimiento del Laboratorio de G.V. ....	97
<b>Tabla 4-4:</b> Cumplimiento de la gestión de mantenimiento Laboratorio de G.V.....	98
<b>Tabla 5-4:</b> Gestión de mantenimiento de talleres y laboratorios de la Facultad.....	99
<b>Tabla 6-4:</b> Tareas de mantenimiento y su logística de los equipos civiles.....	101
<b>Tabla 7-4:</b> Tareas de mantenimiento para equipos con modelo básico.....	105
<b>Tabla 8-4:</b> Tareas de mantenimiento para equipos con modelo condicional.....	113
<b>Tabla 9-4:</b> Tareas de mantenimiento para equipos con modelo sistemático. ....	119
<b>Tabla 10-4:</b> Actividades de mantenimiento incluidas en las rutinas cíclicas. ....	120

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2.</b> Esquema básico AHP.....	6
<b>Figura 2-2:</b> Tipos de mantenimiento .....	11
<b>Figura 3-2:</b> Aspectos de evaluación de criticidad.....	13
<b>Figura 4-2:</b> Formas de actuación de un fallo .....	20
<b>Figura 1-3.</b> Estructura jerárquica de criterios de mantenimiento. ....	26
<b>Figura 2-3:</b> Tabla de valoración y comparación de criterios. ....	32
<b>Figura 3-3:</b> Matriz de comparación pareada.....	33
<b>Figura 4-3:</b> Matriz de comparación pareada.....	33
<b>Figura 5-3:</b> Matriz de comparación pareada.....	33
<b>Figura 6-3:</b> Matriz normalizada.....	34
<b>Figura 7-3:</b> Matriz promedio. ....	34
<b>Figura 8-3:</b> Vector fila total.....	34
<b>Figura 9-3:</b> Vector cociente. ....	35
<b>Figura 10-3:</b> Producto entre matrices de comparación pareada. ....	36
<b>Figura 11-3:</b> Vector suma y vector propio.....	36
<b>Figura 12-3:</b> Comparación de vectores propios.....	37
<b>Figura 13-3:</b> Grupo1, valores normalizados.....	37
<b>Figura 14-3:</b> Ponderación de criterios de mantenimiento grupo1. ....	38
<b>Figura 15-3:</b> Priorización de criterios de mantenimiento. ....	39
<b>Figura 16-3:</b> Pesos de sub-criterios .....	40
<b>Figura 17-3:</b> Instrumento de evaluación del sub-criterio políticas de mantenimiento ..	41
<b>Figura 18-3:</b> Instrumento de evaluación para la gestión de mantenimiento.....	42
<b>Figura 19-3:</b> Estructura jerárquica para inventario de edificios. ....	44
<b>Figura 20-3:</b> Estructura jerárquica para inventario de maquinaria y equipos .....	49
<b>Figura 21-3:</b> Flujograma de evaluación de criticidad.....	55
<b>Figura 22-3:</b> Flujograma para selección del modelo de mantenimiento .....	67
<b>Figura 23-3:</b> Ingreso al software SisMAC.....	84
<b>Figura 24-3:</b> Inicio de sesión en software SisMAC.....	85
<b>Figura 25-3:</b> Vista global de SisMAC .....	85
<b>Figura 26-3:</b> Menú principal de SisMAC.....	86
<b>Figura 27-3:</b> Íconos principales de SisMAC. ....	86
<b>Figura 28-3:</b> Botones de configuración de SisMAC. ....	87
<b>Figura 29-3:</b> Niveles jerárquicos de SisMAC. ....	87
<b>Figura 30-3:</b> Ingreso de inventario jerárquico. ....	87
<b>Figura 31-3:</b> Ingreso de inventario de primer nivel jerárquico.....	88
<b>Figura 32-3:</b> Ingreso de inventario de segundo nivel jerárquico. ....	88
<b>Figura 33-3:</b> Ingreso de inventario del tercer nivel jerárquico. ....	89
<b>Figura 34-3:</b> Ingreso de inventario del cuarto nivel jerárquico. ....	89
<b>Figura 35-3:</b> Ventana emergente de ingreso de equipos. ....	89
<b>Figura 36-3:</b> Inventario ingresado en SisMAC. ....	90
<b>Figura 37-3:</b> Selección de fichas técnicas en SisMAC.....	91

<b>Figura 38-3:</b> Editar ficha técnica. ....	91
<b>Figura 39-3:</b> Asignación de tareas de mantenimiento. ....	92
<b>Figura 40-3:</b> Selección de la tarea de mantenimiento. ....	93
<b>Figura 41-3:</b> Configuración de las tareas de mantenimiento. ....	93
<b>Figura 1-4:</b> Desempeño de la gestión de mantenimiento de la ESPOCH. ....	96
<b>Figura 2-4:</b> Nivel de cumplimiento de la gestión de mantenimiento ESPOCH. ....	97
<b>Figura 3-4:</b> Desempeño de la gestión de mantenimiento del laboratorio de G.V. ....	98
<b>Figura 4-4:</b> Cumplimiento de la gestión de mantenimiento laboratorio de G.V. ....	99
<b>Figura 5-4:</b> Solicitud de trabajo de SisMAC. ....	124
<b>Figura 6-4:</b> Orden de trabajo de SisMAC. ....	125

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>RCM</b>	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.
<b>AHP</b>	Proceso Analítico Jerárquico.
<b>GMAO</b>	Sistema de Mantenimiento Asistido por Ordenador.
<b>SisMAC</b>	Sistema de Mantenimiento Asistido por Computador.
<b>CEAACES</b>	Consejo de Evaluación, Acreditación y Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior.
<b>SECAP</b>	Servicio Ecuatoriano de Capacitación Profesional.
<b>CAB</b>	Curso de Ajuste Básico.
<b>DMDF</b>	Departamento de Mantenimiento y Desarrollo Físico.

## ÍNDICE DE ANEXOS

**Anexo A:** Evaluación de la Gestión de Mantenimiento del Departamento de Mantenimiento y Desarrollo Físico DMDF

**Anexo B:** Evaluación de la Gestión de Mantenimiento de los Laboratorios de la Facultad de Mecánica

**Anexo C:** Inventario jerárquico de la infraestructura civil de la Carrera de Ingeniería de Mantenimiento y Facultad de Mecánica

**Anexo D:** Inventario de máquinas y equipos de los laboratorios de la Facultad de Mecánica

**Anexo E:** Fichas técnicas de áreas arquitectónicas de la Facultad de Mecánica

**Anexo F:** Fichas técnicas de máquinas y equipos de los laboratorios de la Facultad de Mecánica

**Anexo G:** RCM de máquinas y equipos de los laboratorios de la Facultad de Mecánica

**Anexo H:** Cronogramas y planes de mantenimiento de los laboratorios de la Facultad de Mecánica

**Anexo I:** Programa de capacitación al DMDF y laboratorios de la Carrera de Ingeniería de Mantenimiento

## RESUMEN

En este proyecto se elaboró el plan de mantenimiento preventivo para la infraestructura, de la biblioteca, modular, aulas, maquinaria y equipos de laboratorio de la Carrera de Ingeniería de Mantenimiento y Taller de Fundición de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH, mediante la aplicación de la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, ya que la preservación de las edificaciones y de todo activo en sí depende de la calidad de la gestión de mantenimiento. Para el cumplimiento del objetivo general del proyecto, como primer paso se ha evaluado la gestión de mantenimiento de la ESPOCH con ayuda del Proceso Analítico Jerárquico, mediante la ponderación de criterios de mantenimiento para edificios universitarios y equipos de laboratorio. Para la elaboración del plan de mantenimiento se efectuó el levantamiento del inventario técnico jerárquico de equipos eléctricos, mecánicos, de seguridad y civiles de la Facultad definiendo su respectiva codificación, se realizó un análisis de criticidad para precisar prioridades de atención en las edificaciones y máquinas. Se determinaron las actividades de mantenimiento con su respectiva frecuencia y logística para su ejecución dependiendo del nivel de importancia previa que se determinó para cada ítem. Se capacitó al personal técnico y administrativo de la ESPOCH en el manejo del plan de mantenimiento que fue ingresado a un Sistema de Mantenimiento Asistido por Ordenador estableciendo así los indicios de la modernización de la gestión de mantenimiento en la institución. En la evaluación de los laboratorios se obtuvo un nivel de calificación de poco satisfactorio por lo que se recomienda la aplicación de la metodología utilizada en este trabajo, así como la aplicación del plan modelo de mantenimiento en los activos de la Facultad.

**PALABRAS CLAVES:** <TECNOLOGÍAS Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO>, <MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD>, <PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO>, <PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO>, <SISTEMA DE MANTENIMIENTO ASISTIDO POR ORDENADOR>, <SisMAC (SOFTWARE)>.

## ABSTRACT

This project was developed a preventive maintenance plan for the infrastructure, the library, modular, classrooms, machinery and laboratory equipment of Carrera de Ingeniería de Mantenimiento y Taller de Fundición of ESPOCH, through the application of methodology and Reliability Centered Maintenance, where the preservation of buildings and of all assets depends on the quality of maintenance management. For the compliance of the general objective, as a first step the maintenance management of ESPOCH has been evaluated with the help of the Hierarchical Analytical Process, through the deliberation of maintenance criteria for university buildings and laboratory equipment. For the elaboration of the maintenance plan, the hierarchical technical inventory of electrical, mechanical, security and civil equipment of the Faculty was implemented, defining its respective coding, a criticality analysis was carried out to specify priorities of attention in the buildings and machineries. The maintenance activities were determined with their respective frequency and logistics for their implementation depending on the level of prior importance which was determined for each item. The technical and administrative personnel of ESPOCH were trained in the management of the maintenance plan that was entered into a Computer Assisted Maintenance System, thus establishing the indications of the modernization of the maintenance management in the institution. In the evaluation of the laboratories, an unsatisfactory level of qualification was obtained, which is why the application of the methodology applied in this work is recommended, as well as the application of the maintenance plan in the assets of the Faculty.

Keywords: <ENGINEERING TECHNOLOGIES AND SCIENCES>, <MAINTENANCE ENGINEERING>, <MAINTAINANCE FOCUSED ON RELIABILITY>, <PREVENTION MAINTENANCE PLAN>, <HIERARCHICAL ANALYTICAL PROCESS>, <MAINTAINING SYSTEM ASSISTED BY COMPUTER>, <SisMAC (SOFTWARE)>.

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día el mantenimiento está contenido en gran parte de los departamentos administrativos dentro de una institución, por la necesidad de conservar el funcionamiento de los activos que se encuentran dentro de ésta.

Es importante conocer el nivel de la gestión de mantenimiento que se lleva en instituciones de educación superior, con la finalidad de establecer puntos de partida para posibles mejoras que puedan establecerse dentro de la gestión de mantenimiento.

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ubicada en la ciudad de Riobamba es uno de los centros de educación superior del país con una gran oferta y nivel académico que ha llevado a formar profesionales calificados para aportar con su conocimiento en el desarrollo técnico y social del país.

La Escuela de Ingeniería de Mantenimiento que, desde sus inicios como Escuela de Tecnología de Mantenimiento Industrial en el año de 1986, cuenta con infraestructura civil y laboratorios los cuales han sido factor clave dentro de la formación profesional de los estudiantes.

La nueva biblioteca de la Facultad de Mecánica que fue inaugurada el año 2015, forma parte de la moderna infraestructura que posee la Facultad y es de gran aporte para realizar consultorías académicas de los estudiantes y docentes.

Un sistema de gestión de mantenimiento permite fortalecer a la institución mediante la documentación y reglamentos establecidos por entes de evaluación y acreditación, y con la asignación de presupuestos de mantenimiento y el cumplimiento de los mismos.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO REFERENCIAL

### 1.1 Antecedentes

El mantenimiento es uno de los ejes más importantes en una organización, el mismo que ha evolucionado en el transcurso del tiempo al punto de llegar a ser reconocido por las altas gerencias como una inversión, más no como un gasto. El mantenimiento ha cambiado acorde al desarrollo tecnológico; en sus inicios era aplicado únicamente en actividades correctivas. Con el desarrollo de nuevas máquinas, el mantenimiento se ha visto obligado a organizarse no sólo en actividades correctivas, sino también, en el desarrollo de nuevas técnicas con el fin de prevenir fallos para que sea posible actuar antes que se produzcan.

La Escuela de Ingeniería de Mantenimiento que, inició como Escuela de Tecnología de Mantenimiento Industrial en el año de 1986, adquirió varios equipos que conforman los laboratorios y talleres; que han estado al servicio de los estudiantes por más de 30 años. Como es el caso de los equipos de las áreas eléctricas, cuyos bancos de prácticas fueron entregados por el Servicio Ecuatoriano de Capacitación Profesional (SECAP) en el año de 1984 a la Facultad de Mecánica. (HARO, 2016) pág. 1

En el trabajo denominado: “Implementación de un plan de mantenimiento para los laboratorios de las áreas eléctricas y del laboratorio de mantenimiento predictivo de la facultad de mecánica mediante el software SisMAC” desarrollado en el año 2016. Se ha realizado un análisis sobre el estado actual de los equipos que conforman los laboratorios de las áreas eléctricas con ayuda de diferentes técnicas predictivas como: termografía y análisis de vibraciones. Como resultado se obtuvo que varios de estos equipos presentan diferentes modos de fallo, tales como: descalibraciones continuas propias del uso, desgaste de aislamientos de protección en conductores y motores, también se determinó que existen activos que se encuentran fuera de funcionamiento por estar en estado de avería (HARO, 2016) pág. 29-34. Esto resulta en la indisponibilidad de estos equipos para

su uso y en un impedimento de su correcto funcionamiento acorde a las necesidades de los estudiantes durante sus prácticas de laboratorio. En una encuesta realizada a 97 estudiantes cursantes de séptimo a décimo nivel de la Carrera de Ingeniería de Mantenimiento, se obtuvo los siguientes resultados: El 86.6% de los estudiantes encuestados considera que, las aulas (iluminación, paredes, pisos, techos, puertas, ventanas) no están bien mantenidas; el 99 % considera que se requiere realizar algún tipo de mantenimiento a las fachadas, paredes, pisos de las aulas, talleres, laboratorios y biblioteca de la facultad de mecánica de manera que brinden mayor confort; el 71.1% consideran que durante sus prácticas de laboratorio las instalaciones no se encuentran siempre disponibles para su uso.

El mantenimiento para la conservación de edificios involucra actividades técnicas, administrativas y de gestión. Para conocer el desempeño de un edificio en el área de gestión del mantenimiento es necesario saber qué medir. Uno de los objetivos a alcanzar, es la evaluación de la gestión de mantenimiento para la infraestructura civil y equipos de los laboratorios de Electricidad, Máquinas Eléctricas, Electrónica, Mecatrónica, Generación de Vapor, Termodinámica, Taller de Reparaciones, Asociación de la Carrera de Ingeniería de Mantenimiento, aulas del Curso de Ajuste Básico (CAB), módulo de la carrera de Ingeniería de Mantenimiento, Taller de Fundición y biblioteca de la Facultad de Mecánica. El método cualitativo que se usará para alcanzar el primer objetivo se denomina Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), que es una herramienta metodológica que ha sido empleada en varias investigaciones, para priorizar y ponderar criterios.

Con ayuda de la investigación científica de tipo explicativa, en la elaboración de este plan de mantenimiento se empleará una metodología que está basada en Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Ésta presenta algunas, pero no muy grandes diferencias del RCM industrial, con la tendencia a simplificarla a fin de hacerla más comprensible y aplicable (GARCÍA, 2003)pág. 38. La correcta aplicación de RCM consigue transformar la relación entre: los activos existentes, las personas que los operan y las personas que los mantiene. Además, permite que nuevos equipos entren en funcionamiento con gran efectividad, precisión y rapidez. (MOUBRAY, 2004)pág. 1

La elaboración de este plan contempla en su contexto, el mantenimiento de las edificaciones (aulas, laboratorios, oficinas) de la Facultad de Mecánica. La importancia del mantenimiento de este tipo de construcciones se da con el fin de crear un ambiente

enfocado a apoyar y estimular el aprendizaje, la enseñanza, la innovación y la investigación.

## **1.2 Justificación**

Este proyecto técnico se enfocará en la elaboración de un plan de mantenimiento para infraestructura civil y equipos de los laboratorios de Electricidad, Máquinas Eléctricas, Electrónica, Mecatrónica, Generación de Vapor, Termodinámica, Taller de Reparaciones, Asociación de la Carrera de Ingeniería de Mantenimiento, aulas del Curso de Ajuste Básico (CAB), módulo de la carrera de Ingeniería de Mantenimiento, Taller de Fundición y biblioteca de la Facultad de Mecánica utilizando la metodología de “Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) abreviado”.

El Plan de mantenimiento debe ser, entre otras cosas, realizable. Si se elabora una lista de tareas enorme y exhaustiva, se las agrupa de forma poco práctica, o se intenta documentar cada aspecto relacionado con su desarrollo, por pequeño que sea como es en el caso de RCM clásico, conseguiremos un plan de mantenimiento que será más teórico que práctico, y que probablemente, no se lleve a cabo. Hay una regla de oro para la realización de planes de mantenimiento: da mejores resultados un plan de mantenimiento incompleto que se lleva a la práctica que un plan de mantenimiento exhaustivo y perfecto que no se realiza. (GARCÍA, 2003)pág. 39

Actualmente se han desarrollado planes de mantenimiento para algunos laboratorios de la Carrera, pero se han enfocado en forma general para cada laboratorio. Mediante la realización de este trabajo se espera obtener un plan de mantenimiento que permita atender a las necesidades de cada equipo e instalación, además, de la infraestructura civil que compone cada modular.

Cabe mencionar que ya se ha realizado un análisis de criticidad para cada laboratorio en base a varios criterios, en el cual concluye que los laboratorios de Electricidad y Máquinas Eléctricas se encuentran en una categoría de semi críticos, mientras que el laboratorio de Electrónica se encuentra sobre la categoría de críticos, entonces, se requiere de la elaboración de un plan de mantenimiento para permitir que estos activos cumplan con su función de forma eficiente, segura y que además atienda las necesidades de los estudiantes durante su proceso de formación, tanto en las aulas como en los distintos talleres y laboratorios de la escuela. (HARO, 2016)pág. 34-42

### **1.3 Objetivos**

1.3.1 **Objetivo general.** Elaborar un plan de mantenimiento para biblioteca, modular, aulas, laboratorios de la carrera de Ingeniería de Mantenimiento y Taller de Fundición – ESPOCH utilizando la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

Evaluar la gestión de mantenimiento de los laboratorios de Electricidad, Máquinas Eléctricas, Electrónica, Mecatrónica, Generación de Vapor, Termodinámica, Taller de Reparaciones, Asociación de la Carrera de Ingeniería de Mantenimiento, aulas del Curso de Ajuste Básico (CAB), módulo de la carrera de Ingeniería de Mantenimiento, Taller de Fundición y biblioteca de la Facultad de Mecánica.

Aplicar la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para la definición de tareas de mantenimiento preventivo y su logística.

Capacitar al personal técnico en el manejo adecuado del plan de mantenimiento.

## CAPITULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Fundamentos teóricos del Proceso Analítico Jerárquico AHP

El Proceso Analítico Jerárquico (AHP) por sus siglas en inglés fue propuesto por el Profesor Thomas L. Saaty (1980), como respuesta a problemas concretos de toma de decisiones en el Departamento de Defensa de los EE. UU. Actualmente es un clásico en el mundo empresarial, donde se aplica en casi todos los ámbitos donde es necesario tomar una decisión de cierta complejidad. (AZNAR, y otros, 2012)pág. 123

Este método se basa en la idea de un problema complejo de criterio múltiple que se puede resolver mediante la jerarquización de los problemas planteados. Se requieren evaluaciones subjetivas respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios y además su preferencia con respecto a cada una de las alternativas de decisión. El resultado del AHP es una jerarquización con prioridades que muestran la preferencia global para cada una de las alternativas de decisión. (SAATY, 1980)pág. 12

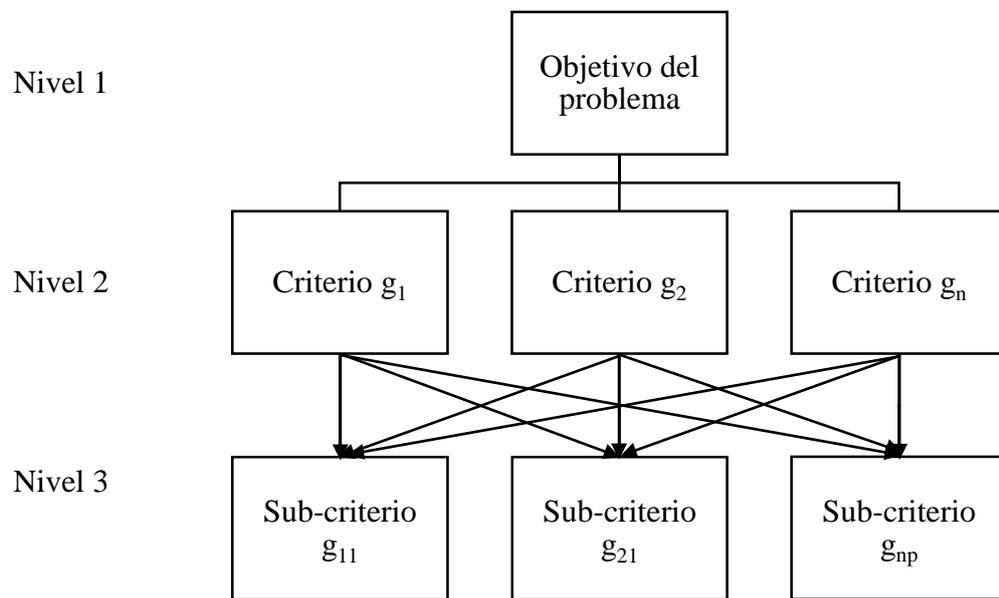
2.1.1 **Definición.** El AHP es un método basado en la evaluación de diferentes criterios que permiten jerarquizar un proceso y su objetivo final consiste en optimizar la toma de decisiones gerenciales. Según Saaty este método trata de desmenuzar un problema y luego unir todas las soluciones de cada parte de éste en una conclusión. (SAATY, 1980)pág. 12

2.1.2 **Descripción del proceso AHP.** Para tomar una decisión de una forma organizada se requieren analizar 4 etapas fundamentales:

2.1.2.1 **Modelización.** Se comienza por la descomposición del problema, mediante la construcción de una jerarquía; cada nivel consiste en pocos elementos manejables, y a la vez cada elemento es descompuesto en otro grupo de elementos. El proceso continúa reduciéndose hasta el punto más específico del problema. Típicamente los procesos

específicos de la acción considerada son representados en el nivel más bajo de la jerarquía. (SAATY, 1980)pág. 15

El problema es estructurado de acuerdo con una jerarquía, donde el elemento de la cima es el objetivo de la decisión. El segundo nivel de la jerarquía representa el criterio, y el nivel más bajo representa los sub-criterios como se muestra en la Figura 1-2. En un cuadro de jerarquía más complejo, más niveles pueden ser añadidos. Estos niveles adicionales representan los sub-criterios. En cualquier caso, hay un mínimo de tres niveles en el cuadro de jerarquía. (ISHIZAKA, y otros, 2013) pág. 14



**Figura 1-2.** Esquema básico AHP

Fuente: (DOUMPOS, y otros, 2002)pág. 56

2.1.2.2 *Valoraciones.* En este segundo paso, el decisor realiza las comparaciones en pares de todos los elementos en cada nivel de la jerarquía. Cada una de estas comparaciones es representada sobre la base de los elementos del nivel de avance de la jerarquía. Por ejemplo, considerando la jerarquía general en el primer nivel de la figura 1, no se requiere comparar (el primer nivel involucra solo un elemento). En el segundo nivel, todos los elementos (criterio de evaluación) son comparados en forma de pares sobre la base del objetivo del problema (primer nivel de la jerarquía). Luego, los sub-criterios del tercer nivel son comparados cada vez desde un punto de vista diferente considerando cada criterio del segundo nivel de la jerarquía. Por ejemplo, el sub-criterio  $g_{11}$  y  $g_{21}$  son inicialmente comparados sobre la base del criterio  $g_1$ , luego sobre la base del criterio  $g_2$ , etc. El mismo proceso es continuado hasta comparar todos los elementos de la jerarquía.

El propósito de realizar todas estas comparaciones es valorar el relativo significado de todos los elementos de la jerarquía en la toma final de la decisión de acuerdo con el objetivo inicial. Las comparaciones son realizadas usando la escala de la **Tabla 1-2**. (DOUMPOS, y otros, 2002) pág. 57

**Tabla 1-2:** Descripción de la escala de Saaty

Valor	Definición	Comentarios
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente al criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho más importante que el criterio B
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el B está fuera de toda duda
2,4,6,8	Valores intermedios entre los anteriores cuando es necesario matizar.	
Recíprocos de los anteriores	Si el criterio A es de importancia grande frente al criterio B las notaciones serán las siguientes: Criterio A frente a criterio B 5/1 Criterio B frente a criterio A 1/5	

**Fuente:** (Priorización de criterios para la evaluación de la gestión del mantenimiento en edificios multifamiliares, 2017)pág. 63

Se procede a construir la matriz de comparaciones pareadas, para la cual deben tenerse en cuenta los siguientes axiomas:

- Axioma de reciprocidad: Si frente a un criterio, una alternativa A es n veces mejor que B, entonces B es 1/n veces mejor que A. este principio es utilizado en el análisis matricial que se realiza a los criterios y a las alternativas. Esto garantiza que el análisis se haga de forma bidireccional. (OSORIO, y otros, 2008)pág. 249
- Axioma de homogeneidad: Los elementos que se comparen entre sí deben ser del mismo orden de magnitud y jerarquía.
- Axioma de independencia: Cuando el decisor realiza las comparaciones, se está suponiendo que los criterios no tienen dependencia con las propiedades de las diferentes alternativas.
- Axioma de las expectativas: Para el propósito de la toma de una decisión, se asume que la jerarquía es completa. (JUAN ESCRIVÁ, 2016)pág. 15

Por lo tanto, siguiendo el procedimiento y con el cumplimiento de los axiomas se obtiene la matriz de comparaciones pareadas (ver Tabla 2-2).

**Tabla 2-2:** Matriz de comparaciones pareadas

	A1	A2	A3
A1	1	$a_{12}$	$a_{13}$
A2	$a_{21}$	1	$a_{23}$
A3	$a_{31}$	$a_{32}$	1

Fuente: (JUAN ESCRIVÁ, 2016)pág. 15

2.1.2.3 *Priorización y síntesis.* Cálculo de prioridades: Una prioridad es un resultado que clasifica la importancia de la alternativa o criterio en la decisión. Siguiendo la fase de estructuración del problema, dos tipos de prioridades tienen que ser calculadas:

- Prioridades de criterio: Importancia de cada criterio (con respecto al principal objetivo).
- Prioridades de sub-criterio: Importancia de un sub-criterio con respecto a un criterio específico. (ISHIZAKA, y otros, 2013)pág. 16

Una vez construida la matriz de comparaciones pareadas se verifica su consistencia y se calcula su vector propio, los cuales pueden ser obtenidos a partir de métodos y modelos fundamentales, como con ayuda de diferentes herramientas informáticas.

Cuando del vector propio obtenido sea el de la matriz de criterios lo llamaremos  $V_c$ , siendo aquel que indica el peso o importancia relativa que cada uno de los criterios utilizados va a tener en el proceso de decisión. (AZNAR, y otros, 2012)pág. 128

Cuando el vector propio obtenido sea el de la matriz de sub-criterios, para un criterio determinado, lo llamaremos  $V_{ai}$  (vector columna), que indica el peso o importancia relativa de cada una de los sub-criterios para el criterio  $i$ . (JUAN ESCRIVÁ, 2016)pág. 16

Una consideración a tener en cuenta que afecta a la decisión final será la consistencia de los juicios del decisor a la hora de rellenar las matrices pareadas. Esto se debe a que el decisor realiza un juicio personal, lo que puede dar lugar a una cierta inconsistencia que habrá que evaluar para ver si se encuentra por debajo de los límites. Esto se realiza en el siguiente apartado. (JUAN ESCRIVÁ, 2016)pág. 16

2.1.2.4 *Análisis de consistencia.* Cuando la matriz esta completa, una revisión de la consistencia puede ser realizada para detectar posibles contradicciones en los apuntes.

Cuando varias comparaciones en pares sucesivas son presentadas, puede existir contradicciones una de otra. Las razones para estas contradicciones pueden ser, por ejemplo: confusión en la definición del problema, falta de información suficiente, información incorrecta o falta de concentración. (ISHIZAKA, y otros, 2013)pág. 18

El método AHP permite evaluar la congruencia de los juicios a través de la obtención del ratio de inconsistencia (IR). Antes de determinar una inconsistencia, es necesario estimar el índice de consistencia (CI) de una n x n matriz de comparaciones, donde CI viene definido por:

$$CI = \frac{\lambda_{\text{máx.}} - n}{n-1} \quad (1)$$

Donde  $\lambda_{\text{máx.}}$  es el máximo autovalor de la matriz y n es el tamaño de la matriz. Por lo cual el IR se obtiene por:

$$IR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

Donde RI es un valor de consistencia aleatoria promedio para una matriz n x n como se describe en la **Tabla 3-2**:

**Tabla 3-2:** Valores de RI para matrices de diferentes órdenes

N	1	2	3	4	5	6	7
RI	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35

Fuente: (JUAN ESCRIVÁ, 2016)pág. 18

Se puede considerar que una matriz es consistente cuando no supere los siguientes valores que se muestran en la **Tabla 4-2**.

**Tabla 4-2:** Límites de consistencia

Tamaño de la matriz (n)	Ratio de consistencia (%)
3	5
4	9
5 o mayor	10

Fuente: (JUAN ESCRIVÁ, 2016)pág. 18

## 2.2 Mantenimiento

En la actualidad el manteamiento industrial se ha considerado desde varias perspectivas, por lo que se le ha dado diversas definiciones. Además, se han manejado varias creencias que han sido discutidas y tratadas a fin de aclarar estos aspectos.

En primer lugar, una de las creencias que se ha manejado es que el mantenimiento es “un conjunto de actividades destinadas a la conservación de los activos físicos para garantizar la producción”. Pero, ya hace mucho tiempo que a través de varios estudios se determinó que el mantenimiento no busca mantener máquinas ni equipos, sino sus funciones, las cuales requieren de uno o varios medios físicos para ser complacidas al nivel de expectativa que se requiera.

Otra de las creencias que se tiene es que el mantenimiento busca prevenir todos los fallos. Se conoce de manera general que la prevención de los fallos es menos costoso que corregirlos. Es así como, no se trata de evitar todos los fallos sino, es preferible empezar a analizar y a evaluar las consecuencias que tiene cada fallo, verificar si son o no admisibles para la organización, todo esto bajo el contexto operacional en el que se desenvuelva.

Por ello, se torna necesario tener un concepto claro y concreto del mantenimiento, además de conocer cuáles son los objetivos que éste busca para la organización. Según la norma europea (UNE-EN13306, 2011)pág. 6 define al mantenimiento como:

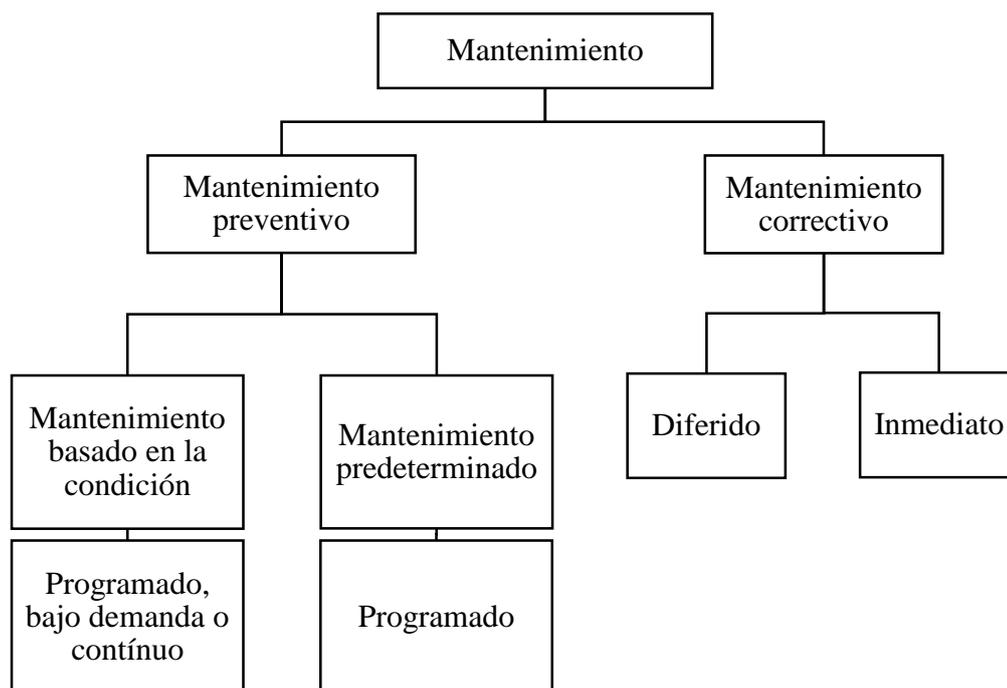
**2.2.1 Definición.** Combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión realizadas durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o a devolverlo a un estado en el que pueda desempeñar la función requerida.

**2.2.2 Objetivos de mantenimiento.**

- Asegurar la disponibilidad del elemento para la función requerida, al coste óptimo;
- Considerar los requisitos de seguridad para el personal de operación y mantenimiento;
- Considerar cualquier impacto sobre el medio ambiente;
- Mantener la calidad del producto y/o servicio suministrado.

**2.3 Tipos de mantenimiento.**

Según la norma (UNE-EN13306, 2011)pág. 13 clasifica los tipos de mantenimiento básicamente en: mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo, además de sus subclasificaciones (ver **Figura 2-1**).



**Figura 2-1:** Tipos de mantenimiento

Fuente: (UNE-EN13306, 2011) pág. 20

Cuando se habla de mantenimiento preventivo se refiere a todas aquellas actividades que se realizan antes de que se produzca un fallo, mientras que cuando se habla de mantenimiento correctivo se refiere a todas las actividades que se realizan después de ocurrido el fallo. A continuación, en la **Tabla 5-2** se muestra los tipos de mantenimiento con su definición.

**Tabla 5-2:** Tipos de mantenimiento

Tipo de Mantenimiento	Definición
Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento que se realiza a intervalos predeterminados o de acuerdo con criterios establecidos, y que está destinado a reducir la probabilidad de fallo o la degradación del funcionamiento de un elemento.
Mantenimiento basado en la condición	Mantenimiento preventivo que incluye una combinación de monitorización de la condición y/o la inspección y/o los ensayos, análisis y las consiguientes acciones de mantenimiento.
Mantenimiento predeterminado	Mantenimiento preventivo que se realiza de acuerdo con intervalos de tiempo establecidos o con un número definido de unidades de funcionamiento, pero sin investigación previa de la condición.
Mantenimiento correctivo	Mantenimiento que se realiza después del reconocimiento de una avería y que está destinado a poner a un elemento en un estado en que pueda realizar una función requerida.
Mantenimiento correctivo diferido	Mantenimiento correctivo que no se realiza inmediatamente después de detectarse una avería, sino que se retrasa de acuerdo con reglas dadas.
Mantenimiento correctivo inmediato	Mantenimiento correctivo que se realiza sin dilación después de detectarse una avería, a fin de evitar consecuencias inaceptables.

Fuente: (UNE-EN13306, 2011) pág. 13-14

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

## 2.4 Análisis de criticidad

El análisis de criticidad es una metodología que permite jerarquizar e identificar por su importancia procesos, sistemas y equipos sobre los cuales vale la pena dirigir recursos. Es decir, el proceso de análisis de criticidad ayuda a determinar la importancia y las consecuencias de los eventos potenciales de fallos en los sistemas de producción dentro del contexto operacional actual. (CRESPO, y otros, 2012)pág. 57

Según (CRESPO, y otros, 2012)pág.58, los motivos de priorización y jerarquización pueden variar según las oportunidades y necesidades de la organización. Algunos criterios comunes dentro de los procesos de jerarquización:

- Flexibilidad operacional (disponibilidad de función alterna o de respaldo).
- Efecto en la continuidad operacional / capacidad de producción.
- Efecto en la calidad del producto.
- Efecto en la seguridad, ambiente e higiene.
- Costos de paradas y del mantenimiento.
- Frecuencia de fallos / confiabilidad.
- Condiciones de operación (temperatura, presión, fluido, caudal, velocidad).
- Flexibilidad / accesibilidad para inspección y mantenimiento
- Requerimientos / disponibilidad de recursos para inspección y mantenimiento.
- Disponibilidad de repuestos.

Los resultados que se obtienen con la aplicación de cualquier técnica de análisis de criticidad determinan el inicio a cualquier proceso de optimización enfocadas en la aplicación de diferentes técnicas de Ingeniería de fiabilidad y mantenimiento (CRESPO, y otros, 2012)pág.58. A continuación, se presenta el método de jerarquización cualitativo:

**2.4.1 Método de análisis de criticidad cualitativo.** Este método realiza un análisis netamente cualitativo sobre la jerarquía de los equipos de producción. Como se muestra en la Figura 3-2, el resultado del análisis es una clasificación de los equipos en tres categorías: A, B, C, siendo los equipos tipo A los equipos críticos, los tipo B como equipos importantes y los tipo C como equipos prescindibles.

TIPO DE EQUIPO	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	PRODUCCIÓN	CALIDAD	MANTENIMIENTO
A CRITICO	Puede originar accidente muy grave	Su parada afecta al Plan de Producción	Es clave para la calidad del producto	Alto costo de reparación en caso de avería
	Necesita revisiones periódicas frecuentes		Es causante de un alto porcentaje de rechazos	Averías muy frecuentes
	Ha producido accidentes en el pasado			Consumen una parte importante de los recursos de mantenimiento (mano de obra o materiales)
B IMPORTANTE	Necesita revisiones periódicas anuales	Afecta a la producción, pero es recuperable (no llega a afectar a los clientes o al plan de producción)	Afecta a la cantidad de, pero habitualmente no es problemático	Coste medio en mantenimiento
	Puede ocasionar un accidente grave, pero las posibilidades son remotas			
C PRESCINDIBLE	Poca influencia en seguridad	Poca influencia en producción	No afecta a la calidad	Bajo costo de mantenimiento

**Figura 3-2:** Aspectos de evaluación de criticidad.

Fuente: (GARCÍA, 2003)pág. 25

Según (GARCÍA, 2003)pág. 24, define equipos críticos como aquellos cuya parada o mal funcionamiento afecta significativamente a los resultados de la empresa. Equipos importantes son aquellos cuya parada, avería o mal funcionamiento afecta a la empresa, pero las consecuencias son asumibles. Los equipos prescindibles son aquellos cuya incidencia es escasa dentro de la organización y que como máximo, supondrán una pequeña incomodidad o algún pequeño costo adicional.

Los criterios que se pueden utilizar para clasificar cada uno de los equipos en una de las categorías previamente mencionadas son: producción, calidad, mantenimiento, seguridad y medio ambiente; en los cuales se debe considerar la influencia que una anomalía tiene sobre cada uno de estos aspectos.

2.4.1.1 *Producción.* Cuando se valora la influencia que un equipo tiene en producción, se evalúa las consecuencias que un fallo provoca a ésta. Dependiendo si algún fallo paraliza toda la instalación, o una parada en una zona de producción preferente, o si paraliza equipos productivos con pérdidas de producción asumibles, o si no tiene influencia sobre la producción se clasificará el equipo como tipo A, B o C. (GARCÍA, 2003)pág. 24

2.4.1.2 *Calidad*. Los defectos en la calidad del producto, por fallos en los equipos pueden producir un fuerte impacto, o una imagen muy negativa de la organización en el mercado. En la categoría A se clasificará a los equipos que pudieran sufrir este tipo de fallo, mientras que en la categoría B y C se clasificará a aquellos que pueden sufrir fallos que producen solo una consecuencia interna o que no ocasionan ningún impacto, respectivamente. (CRESPO, y otros, 2012)pág. 60

2.4.1.3 *Mantenimiento*. Un equipo puede tener fallos que resulten caros y muy frecuentes, o bien el equipo puede resultar en un coste medio en mantenimiento, o por último el equipo puede resultar en un costo muy bajo de mantenimiento que normalmente no dé problemas. (GARCÍA, 2003)pág. 25

2.4.1.4 *Seguridad y medio ambiente*. Un fallo del equipo puede ocasionar un accidente muy grave, ya sea para el medio o para las personas, y que además tenga cierta probabilidad de fallo. Es posible que también un fallo del equipo pueda ocasionar un accidente, pero la probabilidad de que eso ocurra puede ser baja, o bien puede ser que un equipo no tenga ninguna influencia en la seguridad ni el medio ambiente. (GARCÍA, 2003)pág. 25

## **2.5 Modelos de mantenimiento**

En su libro, (GARCÍA, 2003)pág. 19-23 expone los denominados modelos de mantenimiento los cuales incluyen varios tipos de mantenimiento, estos son:

2.5.1 *Modelo básico*. Es el modelo más simple que es aplicable a equipos con un nivel de criticidad muy bajo en los cuales al producirse un fallo no proponen ningún problema económico ni técnico, en éste se incluye actividades básicas como:

- Inspecciones sensoriales.
- Tareas de lubricación.
- Actividades de reparación.

2.5.2 *Modelo condicional*. Este modelo contiene las actividades del modelo básico, adicionalmente se incluye una serie de pruebas para valorar el estado técnico del equipo y según los resultados obtenidos se determina si se programa o no una intervención técnica al equipo. Este modelo es aplicable en equipos de poca utilización, o que son importantes para el sistema productivo con una alta confiabilidad. Por lo que se obtiene las siguientes actividades:

- Inspecciones sensoriales
- Tareas de lubricación.
- Actividades de reparación.
- Mantenimiento Condicional.

2.5.3 **Modelo sistemático.** Este modelo incluye un conjunto de actividades de mantenimiento sin importar la condición del equipo, además se realizará algunas mediciones y pruebas para decidir si se aplica otras tareas de mayor envergadura y por último, resolver los fallos que surjan. Aplicable en equipos de media disponibilidad en el que algún fallo pueda causar cierto malestar dentro del sistema productivo. La diferencia con los modelos anteriores es que, éste puede tener tareas sistemáticas sin importar el tiempo que el equipo lleva funcionando y para que se pueda realizar alguna tarea, el equipo debe presentar algún indicio de fallo. Por lo que se obtiene las siguientes actividades:

- Inspecciones sensoriales.
- Tareas de lubricación.
- Actividades de reparación.
- Mantenimiento Condicional.
- Mantenimiento preventivo sistemático.

2.5.4 **Modelo de alta disponibilidad.** Es el modelo más exigente, el cual es aplicable en equipos de criticidad alta en donde se requiere una disponibilidad por encima del 90 % ya que una parada de estos equipos causaría severas pérdidas dentro del sistema productivo en el cual están inmersos. En este modelo de mantenimiento se aplicarán todas las tareas juntas de los modelos anteriores, con la aplicación de técnicas de mantenimiento basado en la condición durante el funcionamiento del equipo. Además, se realizará paradas programadas con frecuencias generalmente anual o superior con el fin de sustituir todas las piezas sometidas a desgaste o que tengan una alta probabilidad de fallo a lo largo del tiempo de trabajo. Estas paradas requieren de planificación y preparación anticipada ya que son repetidas en general cada año.

Para este modelo no se toman en cuenta tareas correctivas ya que el principal objetivo es el cero averías durante el funcionamiento del equipo. En caso de ser necesario, se

aplicarán acciones de reparación rápida provisional que será resuelta durante la parada programada del activo. Las actividades que incluye este modelo son:

- Inspecciones sensoriales.
- Tareas de lubricación.
- Actividades de reparación.
- Mantenimiento Condicional.
- Mantenimiento preventivo sistemático.
- Parada mayor.

## **2.6 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad**

En los últimos años, el mantenimiento ha sufrido varios cambios, quizás siendo la disciplina gerencial que más lo ha hecho. Producto de estas transformaciones, se ha desarrollado diferentes metodologías y técnicas para establecer tareas de mantenimiento y su logística, con el propósito de mantener las funciones de los equipos.

Una de las metodologías desarrolladas es el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) por sus siglas en inglés. Inicialmente fue desarrollada por la industria de la aviación civil de los EE. UU. con la finalidad de mejorar la seguridad y la confiabilidad de sus equipos hace poco más de 30 años. Ésta industria desarrolló este marco estratégico completamente nuevo de manera que cada equipo continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga. Luego de ver los excelentes resultados en sus aplicaciones, fue trasladada al uso militar y posteriormente al campo industrial. En su libro, (MOUBRAY, 2004) pág. 7 define al RCM como:

**2.6.1 Definición.** RCM es un proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual.

**2.6.2 Preguntas básicas del RCM.** El análisis de RCM se realiza en base al desarrollo de las cada una de las preguntas expuestas a continuación:

1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
2. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
3. ¿Cuál es la causa de cada fallo funcional?

4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada fallo?
5. ¿En qué sentido es importante cada fallo?
6. ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada fallo?
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada? (MOUBRAY, 2004)pág. 7

La solución a estas preguntas por cada sistema y equipo que compone el sistema productivo o instalación industrial la cual lleva a la determinación de los fallos, sus causas, los efectos que estos producen y las medidas preventivas que pueden aplicarse.

## **2.7 Plan de mantenimiento basado en RCM**

El Plan de Mantenimiento es un documento que contiene el conjunto de tareas de mantenimiento programado que debemos realizar en una planta para asegurar los niveles de disponibilidad que se hayan establecido. Es un documento vivo, pues sufre de continuas modificaciones, fruto del análisis de las incidencias que se van produciendo en la planta y del análisis de los diversos indicadores de gestión.

**2.7.1 Definición de plan de mantenimiento.** Conjunto estructurado y documentado de tareas que incluyen las actividades, los procedimientos, los recursos y la duración necesaria para realizar el mantenimiento. (UNE-EN13306, 2011)pág. 7

La elaboración del Plan de Mantenimiento atraviesa una serie de fases como son: descomposición de la planta en áreas, elaboración de la lista de equipos, descomposición de cada uno de ellos en sistemas y elementos, codificación, y asignación del modelo de mantenimiento que mejor se adapta a las características del equipo y su función dentro del contexto operacional de la planta. Una vez este trabajo esté finalizado, se está en disposición de comenzar a elaborar la lista de tareas que incluirá el Plan de Mantenimiento. (GARCÍA, 2003)pág. 37

La metodología por emplear en el desarrollo de este trabajo de investigación está basada en RCM que presenta una propuesta diferente en la aplicación de ésta. Esta propuesta difiere en ciertos aspectos en relación con el RCM clásico, por ejemplo: RCM clásico parte su análisis definiendo claramente las funciones del equipo, tanto primarias como secundarias, mientras que esta metodología parte de la definición de los fallos funcionales y fallos técnicos. Otra diferencia radica en que RCM clásico analiza minuciosamente las consecuencias que conlleva cada fallo y a partir de ello, se definen las actividades de

mantenimiento a aplicarse, con el propósito de evitar o a su vez reducir el impacto que tengan sobre la organización. Mientras que la metodología propuesta por (GARCÍA, 2003) para el estudio de las consecuencias, clasifica los fallos como fallos a evitar y fallos a amortiguar, por lo que luego del análisis de criticidad de los equipos se selecciona el modelo de mantenimiento correspondiente y así se determinan las actividades de mantenimiento para cada equipo.

Tras analizar la criticidad de los equipos y el modelo de mantenimiento que mejor se adapta a las características de cada uno, de acuerdo con (GARCÍA, 2003)pág. 38-47 la elaboración del plan de mantenimiento consta de las siguientes fases:

### ***2.7.2 Determinación de los fallos funcionales y fallos técnicos.***

**2.7.2.1 Fallo funcional.** Un estado en el que un activo físico o sistema no se encuentra disponible para ejercer una función específica a un nivel de desempeño deseado. (SAE-JA1012, 2002)pág. 6

Para determinar un fallo funcional, no tenemos más que determinar la función que cumple y definir el fallo como la antifunción, es decir, como el no cumplimiento de su función. (GARCÍA, 2003)pág. 39

**2.7.2.2 Fallo técnico.** Es aquel que, no impidiendo al equipo que cumpla su función, supone un funcionamiento anormal que puede provocar la degradación acelerada del equipo y terminar convirtiéndose en un fallo funcional (GARCÍA, 2003)pág. 39. Este tipo de fallo se asemeja en el concepto de fallo potencial el cual según (SAE-JA1012, 2002)pág. 6 lo define como: “una condición identificable que indica que un fallo funcional está a punto de ocurrir o está en proceso de ocurrir”.

Existen diferentes fuentes de información para determinar los diversos fallos y modos de fallo que se presentan en los equipos:

- Histórico de averías.
- Personal técnico y de mantenimiento.
- Personal de operación.
- Manual de operación y mantenimiento del equipo.

**2.7.3 Determinación de los modos de fallo.** Luego de establecer los fallos que puede sufrir un equipo, se requiere establecer todos los posibles modos de fallo causantes de dichos fallos como parte del análisis. Sería algo simple aplicar el término fallo a cualquier activo físico de manera general, lo más adecuado es distinguir entre un fallo funcional como un “estado de falla” y un modo de fallo como un “evento que puede causar un estado de falla”. (MOUBRAY, 2004)pág. 56

Bajo este criterio, la norma (SAE-JA1012, 2002) en su pág. 7 define al modo de fallo como “un evento único, que causa un fallo funcional”. Cada fallo, funcional o técnico, puede presentar múltiples modos de fallo, por lo que es muy importante que se determinen todos los modos de fallos posibles con el propósito de realizar un análisis preciso y exhaustivo.

**2.7.4 Estudio de las consecuencias de un fallo: clasificación de fallos.** La importancia que tiene el estudio de las consecuencias es tal, que permite que se pueda considerar si un fallo debe ser evitado o si debe ser atenuado. Es decir, evitar que un fallo tenga consecuencias inadmisibles para el sistema, o procurar que un fallo disminuya sus efectos para que, en caso de producirse, éstos llegasen a ser mínimos. Por ello, de acuerdo con (GARCÍA, 2003)pág. 41 es posible clasificar a los fallos dentro de dos categorías:

- Fallos a evitar, y
- Fallos a amortiguar.

De acuerdo con el modelo de mantenimiento a elegirse, se analizan las consecuencias que cada fallo puede tener sobre el equipo. Se puede decir que evitar un fallo tiene un costo mucho mayor con respecto a minimizar sus efectos. Entonces, la clasificación de fallos a evitar debe ser considerado únicamente a aquellos fallos cuyas consecuencias desembocan en altos costos para la organización. (GARCÍA, 2003)pág. 41

Como se observa en la Figura 4-2 los fallos funcionales en equipos cuyo modelo de mantenimiento es de Alta Disponibilidad o modelo Sistemático, deben ser evitados. Para los fallos técnicos en los mismos equipos, basta con buscar la manera de que sus efectos sean atenuados.

Para los equipos con modelo de mantenimiento condicional, tanto los fallos funcionales como los fallos técnicos deben ser analizados como fallos a amortiguar. En los equipos que aplican un modelo de mantenimiento correctivo, este estudio no se realiza ya que las

actividades de mantenimiento destinadas son básicas y no requieren de un análisis mayor a su ejecución.

Equipos con modelo de mantenimiento de alta Disponibilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Fallo funcional: A</li> <li>EVITAR</li> <li>•Fallo técnico: A</li> <li>AMORTIGUAR</li> </ul>
Equipos con modelo de mantenimiento sistemático	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Fallo funcional: A</li> <li>EVITAR</li> <li>•Fallo técnico: A</li> <li>AMORTIGUAR</li> </ul>
Equipos con modelo de mantenimiento condicional	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Fallo funcional: A</li> <li>AMORTIGUAR</li> <li>•Fallo técnico: A</li> <li>AMORTIGUAR</li> </ul>
Equipos con modelo de mantenimiento correctivo	No se estudian

**Figura 4-2:** Formas de actuación de un fallo

Fuente: (GARCÍA, 2003)pág. 42

**2.7.5 Determinación de medidas preventivas que eviten o amortigüen los efectos de los fallos.** Para la determinación de las medidas preventivas, es necesario en primer lugar definir lo que es una tarea de mantenimiento. Según la norma (NTE INEN-EN, 2010) pág. 12 la define como:

**2.7.5.1 Tarea de mantenimiento.** Es una secuencia de actividades elementales realizadas con un propósito determinado. Por ejemplo, un diagnóstico y localización de averías, una verificación de funciones o una combinación de las anteriores.

Las tareas de mantenimiento pueden ser identificadas de acuerdo con las siguientes aproximaciones o una combinación de ellas (NTE INEN-EN, 2010)pág. 25:

- Adopción de las recomendaciones del fabricante;
- Análisis de los equipos bajo un enfoque estructurado como la metodología RCM;
- Experiencia real con el equipo.

Las tareas de mantenimiento son aplicadas con la finalidad de evitar que se produzca cualquier fallo o a su vez minimizar sus efectos (GARCÍA, 2003)pág. 43. Por lo que han sido clasificadas en varios tipos:

**2.7.5.2 Tareas de inspección.** Es la actividad más básica de mantenimiento que no requiere de un entrenamiento específico para hacerlo correctamente. Según la norma (UNE-EN13306, 2011)pág. 14 lo define como “un examen de la conformidad mediante

medición, observación o ensayos de las características relevantes de un elemento”. Las actividades de inspección se pueden realizar con instrumentos de medición de parámetros o simplemente mediante los sentidos sensoriales del cuerpo humano.

*2.7.5.3 Tareas de lubricación.* La lubricación, especialmente en equipos mecánicos, representan una actividad fundamental dentro del mantenimiento industrial. Lubricar consiste en aplicar determinado producto que permita reducir el coeficiente de fricción entre dos superficies en rozamiento. (MEDRANO Márquez, y otros, 2017)pág. 130

Una buena lubricación asegura la reducción del desgaste durante la fricción de elementos mecánicos, obteniéndose un periodo largo de duración de éstos. Una buena práctica de actividades de lubricación permite a cualquier organización preservar adecuadamente sus equipos, además de disminuir las pérdidas mecánicas y económicas que se presentan por efectos del rozamiento.

*2.7.5.4 Reparación.* Según la norma (UNE-EN13306, 2011)pág. 15 la define como “una acción física que se realiza para restablecer la función requerida de un elemento averiado”. Las actividades de reparación incluyen la localización de la avería y la verificación de la función.

*2.7.5.5 Monitorización de la condición.* Son actividades que se realizan de forma manual o automática con el propósito de medir a intervalos predeterminados las características y los parámetros del estado real de un elemento (UNE-EN13306, 2011)pág. 15. En ocasiones se requiere de instrumentos simples como: multímetros, pirómetros, tacómetros, etc. O estas actividades requieren de instrumentos complejos como: analizadores de vibraciones, cámaras termográficas, equipos de ultrasonido, etc.

*2.7.5.6 Parada mayor.* El conjunto de actividades que incluye el reemplazo total de todas las piezas sometidas a desgaste en un determinado equipo. La finalidad es restablecerlo a sus condiciones iniciales de funcionamiento, es decir, como si fuera nuevo.

La norma (UNE-EN13306, 2011)pág. 15 lo define en términos de actividades de revisión general como un “conjunto exhaustivo de acciones de mantenimiento preventivo que se realizan con objeto de mantener el nivel requerido de desempeño de un elemento”. La revisión general se la puede realizar a intervalos de tiempo predeterminados o tras un

determinado número de operaciones. Además, puede requerir de un desmontaje total o parcial del equipo.

**2.7.6 Determinación de las frecuencias óptimas para cada tarea.** Existen varios criterios para determinar la periodicidad con la que una tarea de mantenimiento debe ser ejecutada. La complejidad que conlleva su determinación ha sido objeto de análisis e investigación con el propósito de obtener una base técnica para deducir intervalos de tiempo adecuados. En la Tabla 6-2 el autor Luis Felipe Sexto en la revista *Mantenimiento en Latinoamérica* cita 6 criterios que pueden ser combinados en la determinación de frecuencias de mantenimiento.

**Tabla 6-2:** Criterios para determinar la frecuencia.

<b>Criterio</b>	<b>Descripción</b>
Criterio contractual	Relacionado básicamente con el respeto a la vigencia de garantías y suministro de recambios y mano de obra especializada proporcionado por el proveedor. Cualquier modificación a las actividades y frecuencias establecidas en un contrato o anexo técnico de este, permitirá que exista un bloqueo contractual por parte del proveedor.
Criterio del fabricante	Es uno de los criterios más utilizados entre los técnicos de menor experiencia. La información proporcionada por el fabricante brinda una referencia en la determinación de actividades y frecuencias, pero hay que considerar que el fabricante no toma en cuenta aspectos del contexto operacional del equipo.
Criterio analítico estadístico	Utilizando herramientas estadísticas que resulten en la determinación de modelos probabilísticos para el establecimiento de las frecuencias. Se requiere información actualizada para obtener datos confiables y que se apeguen a la realidad del equipo.
Criterio basado en la experiencia	Principalmente de personal experto y que tenga relación con el equipo. Se basa en el dominio y conocimiento pleno del contexto operacional donde se desenvuelve el equipo, por lo que su estimación resulta efectiva ante fallos inducidos por errores de operación y mantenimiento.
Criterio de evaluación de la condición	Basado en el resultado de diagnósticos realizados a los equipos con ayuda de técnicas de monitorización de la condición, por lo que requiere de personal con competencias particulares, instrumentación y de equipos de diagnóstico.
Criterio de información del equipo no contextualizado	En caso de no disponer de información pasada del equipo, se vuelve necesario obtener bases de datos de estos equipos que se desarrollan en un contexto operacional similar. Para este caso la determinación de la frecuencia bajo este criterio se vuelve mucho más riesgosa ya que la información extraída viene de un contexto operacional, que es cierto se considera similar, pero que de alguna manera se desconoce o no coincide con el nuestro.

**Fuente:** (¿Cómo determinar la frecuencia de mantenimiento?. Seis criterios técnicos de decisión., 2017) pág. 6

**Elaborado por:** Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

**2.7.7 Agrupación de las tareas en rutas y gamas de mantenimiento.** Una vez que se hayan definido el listado de tareas de mantenimiento y su frecuencia se procede a la agruparlas con el objetivo de facilitar su ejecución.

Para referirse a rutas de mantenimiento, serán el conjunto de tareas que se realizan en la misma área, pero en diferentes equipos, mientras que gamas de mantenimiento serán el conjunto de tareas que se asignan a un mismo equipo (GARCÍA, 2003)pág. 75. Para la agrupación de las tareas en rutas o gamas de mantenimiento se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Tareas asignadas a la misma área.
- Tareas asignadas al mismo equipo.
- Tareas asignadas de la misma especialidad (eléctricas, mecánicas, de lubricación, inspección, ajustes, calibración, etc.)
- Tareas agrupadas por frecuencia de ejecución. (GARCÍA, 2003)pág. 75

## CAPITULO III

### 3. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.

#### 3.1 Evaluación de la gestión de mantenimiento.

Para dar cumplimiento al primer objetivo de este proyecto, se ha aplicado el método AHP, para elaborar el instrumento de evaluación de la gestión de mantenimiento. Este instrumento de evaluación permitirá conocer de qué manera se lleva la organización del mantenimiento dentro de la institución.

3.1.1 *Criterios y sub-criterios de evaluación.* Estos parámetros fueron obtenidos de distintas fuentes tales como son artículos científicos, guías de autoevaluación de carreras universitarias emitidas por el Consejo de Evaluación, Acreditación y Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior (CEAACES) y normas de la gestión de mantenimiento.

Para la elección de los diferentes tipos de criterios se tuvieron en cuenta juicios como:

- Si el criterio es o no, aplicable al tipo de modelo de gestión de mantenimiento que se estudia.
- Si el criterio permite o no, mejorar problemas de gestión de mantenimiento en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH)
- Si el método para evaluar el criterio es viable en su aplicación para el contexto local de la institución.
- Si los niveles de exigencia del criterio tengan concordancia con la realidad local.

Los criterios una vez definidos ayudarán a evaluar la gestión de mantenimiento con ayuda del método AHP. Para determinar el valor de las ponderaciones, se da un peso a cada criterio y se determina cuál de todos éstos es considerado el más importante en la gestión de mantenimiento.

Cada criterio posee uno o varios sub-criterios, que serán evaluados de la misma manera que los criterios y así poder determinar los pesos que tendrá cada uno.

Los criterios y sub-criterios seleccionados serán jerarquizados de acuerdo con la matriz que se muestra en la Figura 1-2. Para facilitar la identificación de cada uno de los criterios y sub-criterios, se les ha dado un código como se describe en la **Tabla 1-3**.

**Tabla 1-3.** Criterios y sub-criterios de evaluación y codificación.

Criterios		Sub-criterios	
OM	<b>Organización general del mantenimiento</b>	OM1	Políticas de mantenimiento
		OM2	Herramienta informática para la gestión de mantenimiento
RH	<b>Recursos humanos de mantenimiento</b>	RH1	Formación profesional
		RH2	Capacitación y entrenamiento
		RH3	Cantidad de personal de mantenimiento
CE	<b>Control económico de mantenimiento</b>	CE1	Presupuesto de mantenimiento
		CE2	Porcentaje de cumplimiento de presupuesto ejecutado
PC	<b>Planificación, programación y control</b>	PC1	Inventario jerárquico y codificado de instalaciones a mantener.
		PC2	Plan de mantenimiento
		PC3	Programación de actividades de mantenimiento
		PC4	Documentos de mantenimiento
		PC5	Control de la ejecución del mantenimiento planificado
TM	<b>Tercerización de mantenimiento</b>	TM1	Política de contratación
		TM2	Especificaciones técnicas de los trabajos
		TM3	Supervisión de los trabajos de mantenimiento
MI	<b>Manejo de inventario para mantenimiento</b>	MI1	Maestro de ítems
		MI2	Control de existencias
		MI3	Inventario valorado de ítems

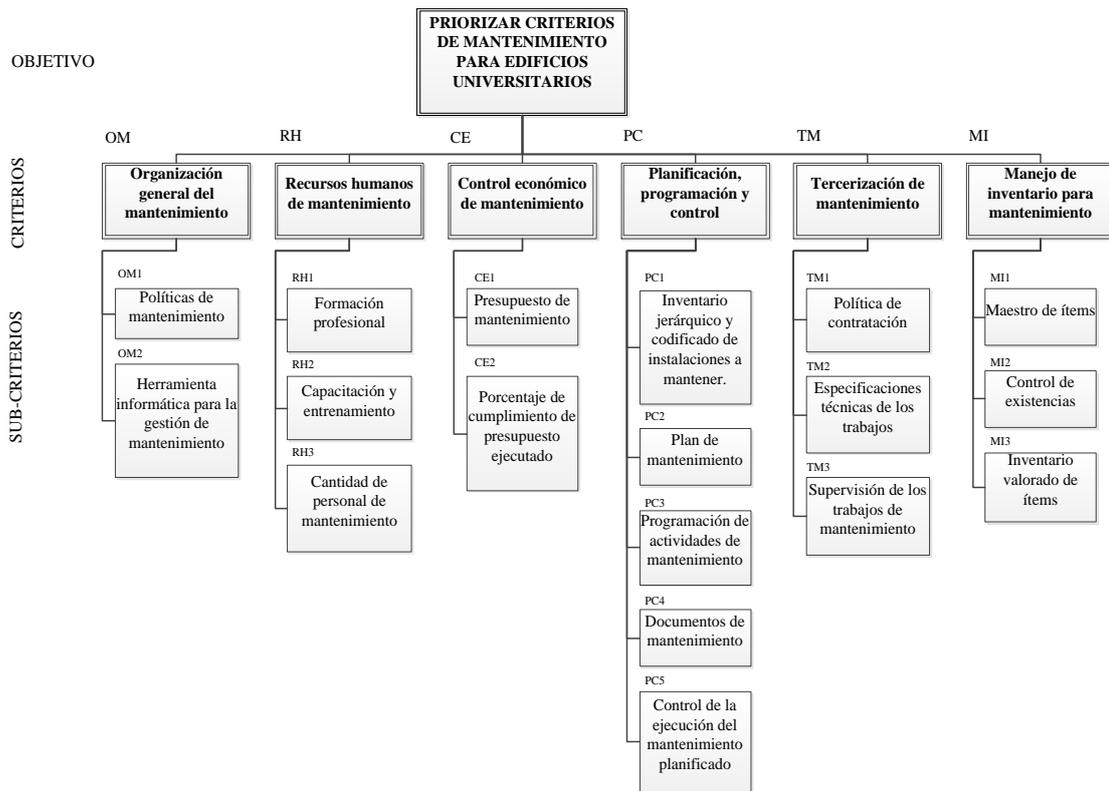
Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

**3.1.2 Descripción de criterios y sub-criterios.** Antes de realizar el análisis es necesario conocer a qué se refieren cada uno de los criterios y sub-criterios que han sido tomados en cuenta para la evaluación de la gestión del mantenimiento en la ESPOCH.

**3.1.2.1 Organización general del mantenimiento.** Es el hecho de dar forma a lo planeado de acuerdo con los recursos de la institución, definiendo una estructura por funciones. El

éxito de la organización se basa en una buena proyección de la institución. (BOTERO, 1991) pag.12

La organización general de mantenimiento incluye: diseño del trabajo, estándares de tiempo y administración de proyectos, como actividades de la organización de mantenimiento. Tiene como objetivo, el de permitir la evaluación de la gestión, ya que por medio de la evaluación permitirá tomar decisiones para el mejoramiento continuo.



**Figura 1-3.** Estructura jerárquica de criterios de mantenimiento.

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

Para el criterio de organización de mantenimiento se evalúan dos sub-criterios: el primero refiriéndose a la existencia de políticas de mantenimiento y el segundo refiriéndose a la tenencia de herramientas informáticas para la gestión de mantenimiento (ver **Tabla 2-3**).

**Tabla 2-3:** Sub-criterios de Organización general del mantenimiento

Sub-criterios	Descripción del sub-criterio de evaluación
Políticas de mantenimiento	La participación de la gerencia debe verse reflejada en el establecimiento de políticas que integren el mantenimiento con los objetivos generales del edificio y que fomenten una cultura del mantenimiento del edificio. Se debe disponer de políticas de gestión de mantenimiento, que contenga una exposición clara de los objetivos y las técnicas necesarias a ser adoptadas para mantener los edificios aptos para el uso.
Herramienta informática para la gestión de mantenimiento	Para la gestión de la información puede emplearse como herramienta un software para la gestión de mantenimiento (CMMS) para la planificación, organización, control y almacenamiento de información adecuada, que asegure eficiente y eficazmente la gestión de mantenimiento del edificio.

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

3.1.2.2 *Recursos humanos de mantenimiento.* Lo recursos humanos son enfocados en la mano de obra que obtendrá una industria y su respectivo uso según sus necesidades.

Según el artículo (La Gestión de Recursos Humanos, 2006) pág.11, los recursos humanos tienen relevante importancia para el logro de las políticas, metas y objetivos organizacionales; son factores que hacen a las organizaciones productivas y competitivas y, por ende, exitosas, de allí la importancia de desarrollar una gestión de recursos humanos que garantice la disponibilidad de un personal capacitado, competente, actualizado y motivado hacia el trabajo productivo y, comprometido con el futuro de la organización.

Dentro de este criterio se consideran los siguientes sub-criterios: formación profesional, capacitación y entrenamiento y la cantidad de personal de mantenimiento existente (ver **Tabla 3-1**).

**Tabla 3-1:** Sub-criterios de Recursos humanos de mantenimiento.

Sub-criterios	Descripción del sub-criterio de evaluación
Formación profesional	El mantenimiento de edificios tendrá un responsable como un administrador o gerente de mantenimiento, quien debe tener una formación profesional a fin al mantenimiento de edificios. Además, es necesario que el personal ejecutor de mantenimiento de edificios sea personal calificado.
Capacitación y entrenamiento	Capacitación continua de los administradores de mantenimiento y ejecutores de mantenimiento.
Cantidad de personal de mantenimiento	Disponer de un número adecuado de personal de mantenimiento, de acuerdo a las necesidades de la infraestructura universitaria.

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

3.1.2.3 *Control económico de mantenimiento.* El control económico permite un manejo adecuado de los recursos en una empresa o industria y permite evidenciar la actividad empresarial. El control económico está muy relacionado con los costos de mantenimiento.

En la **Tabla 4-3** se muestra los sub-criterios que se aplican dentro de este criterio de evaluación:

**Tabla 4-3:** Sub-criterios de Control económico de mantenimiento.

<b>Sub-criterios</b>	<b>Descripción del sub-criterio de evaluación</b>
Presupuesto de mantenimiento	Aplicar buenas técnicas para la elaboración de presupuestos, para tener un buen control financiero a través de programas de mantenimiento.
Porcentaje de cumplimiento de presupuesto ejecutado	Establecer y disponer de indicadores económicos de mantenimiento para su evaluación y control.

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

3.1.2.4 *Planificación, programación y control.* La planificación del mantenimiento, programación y control del mismo se enfoca en la implementación de todas las actividades de la gestión que determinan los objetivos, las estrategias y las responsabilidades del mantenimiento. (UNE-EN13306, 2011) pag.6

La **Tabla 5-3** muestra los sub-criterios que son considerados en este criterio:

**Tabla 5-3:** Sub-criterios de planificación, programación y control.

<b>Sub-criterios</b>	<b>Descripción del sub-criterio de evaluación</b>
Inventario jerárquico y codificado de instalaciones a mantener.	Inventario actualizado de equipos, materiales, repuestos y accesorios (por cada laboratorio de la carrera) y la infraestructura civil.
Plan de mantenimiento	Conjunto estructurado de tareas que comprenden las actividades, los procedimientos, los recursos y la duración necesaria para ejecutar el mantenimiento. (EN 13306 Terminología de mantenimiento)
Programación de actividades de mantenimiento	La programación de actividades a realizar debe basarse en un calendario (por ejemplo: diario/semana y/o mensual) y debe asignarse por tipo de trabajo (trabajos de ingeniería civil, eléctrica, mecánica, etc.) o por áreas geográficas.
Documentos de mantenimiento	Se deben disponer de documentos de mantenimiento generados en la fase preparatoria como son: Manuales de mantenimiento y planos. Y documentos generados en la fase operativa como son: procedimientos de mantenimiento, solicitudes de trabajo, órdenes de trabajo, permisos de trabajo, registros de mantenimiento y otros necesarios para la administración correcta del mantenimiento. Y que son fuente de información para cálculo de indicadores de mantenimiento.
Control de la ejecución del mantenimiento planificado	Indicador = # trabajos ejecutados / # trabajos planificados.

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

3.1.2.5 *Tercerización de mantenimiento*. Según la norma (UNE-EN13306, 2011) pag.14, define como contratación externa de todas o de parte de las actividades de mantenimiento de una organización durante un periodo de tiempo establecido. En el caso de que se contraten externamente de forma completa todas las actividades de mantenimiento, esto se conoce como externalización completa del mantenimiento. Los sub-criterios aplicados en el criterio tercerización se muestran en la **Tabla 6-3**.

**Tabla 6-3:** Sub-criterio tercerización de mantenimiento.

Sub-criterios	Descripción del sub-criterio de evaluación
Política de contratación	La política debe definir en primera instancia qué actividades le conviene a la institución contratar. Además la política de contratación debe establecer los lineamientos para realizar el proceso de selección y contratación del mejor contratista que ejecutará el mantenimiento.
Especificaciones técnicas de los trabajos	Cada contrato de mantenimiento deberá contener las especificaciones técnicas referentes al objeto del contrato.
Supervisión de los trabajos de mantenimiento	Verificación del cumplimiento de los trabajos ejecutados.

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

3.1.2.6 *Manejo de inventario para mantenimiento*. El Manejo de inventario permite un control de los bienes, para evitar los inconvenientes derivados de la realización de inventarios generales, si se dispone de un sistema informático en el que se registre el stock y las entradas y salidas de materiales, debe organizarse un sistema de inventarios por zonas, de manera que con una periodicidad muy corta el personal de almacén realice un inventario parcial de una de esas zonas. Al final del año, debería haberse completado el inventario total. (GARCÍA, 2003) pag.128

La **Tabla 7-3** describe los sub-criterios considerados en el manejo de inventario para mantenimiento.

**Tabla 7-3:** Sub-criterio manejo de inventario para mantenimiento.

Sub-criterios	Descripción del sub-criterio de evaluación
Maestro de ítems	Listado ítems codificado y etiquetado.
Control de existencias	Existencia actualizada de cada ítem.
Inventario valorado de ítems	Cada ítem que consta en el inventario deberá tener el costo utilizando las siguientes metodologías FIFO, LIFO o Costo promedio.

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

3.1.3 *Selección de especialistas.* La elaboración del instrumento de evaluación tuvo como primer paso, el realizar una entrevista a varios especialistas de distintas ramas con enfoque al mantenimiento. Como se muestra en la **Tabla 8-3**, han sido clasificados en tres grupos:

- Primer grupo: Docentes de la Facultad de Mecánica, con relación en la Gestión de Mantenimiento.
- Segundo grupo: Especialistas expertos en mantenimiento, quienes se encuentran laborando en distintos sectores industriales del país.
- Tercer grupo: Administradores de mantenimiento en instituciones públicas.

**Tabla 8-3:** Listado de especialistas en la gestión mantenimiento.

<b>ESPECIALISTAS: DOCENTES</b>	
DOC1	Ing. Eduardo Hernández
DOC2	Ing. Mónica Orejuela
DOC3	Ing. Verónica Chávez
DOC4	Ing. Ángel Larrea
DOC5	Ing. Ángel Ramírez
DOC6	Ing. Sergio Villacrés
DOC7	Ing. César Gallegos
DOC8	Ing. Mayra Viscaíno
DOC9	Ing. César Arregui
DOC10	Ing. Alex Tenicota
DOC11	Ing. Stalin Nuela
DOC12	Ing. César Astudillo
DOC13	Dr. Marco Haro
<b>ESPECIALISTAS: EXPERTOS EN MANTENIMIENTO</b>	
ESP1	Ing. José Zavala
ESP2	Ing. Mario Viera
ESP3	Ing. Oswaldo Quintana
ESP4	Ing. Danny LLamuca
ESP5	Ing. Pablo Moreno
ESP6	Ing. Julio López
ESP7	Ing. Hernán Suntasig
ESP8	Ing. Mario Gualotuña
<b>ESPECIALISTAS: ADMINISTRADORES DE MANTENIMIENTO</b>	
ADM1	Arq. Irina Tinoco (Directora Departamento de Mantenimiento y Desarrollo Físico ESPOCH)
ADM2	Ing. Mónica Tapia (Jefa de Mantenimiento DMDF ESPOCH)
ADM3	Isaías Alfredo Garzón del Salto (Administrador del mantenimiento de la UNACH)
ADM4	Ing. Fabian Marcelo Fierro (Administrador del mantenimiento de la UNIANDES)
ADM5	Ing. Cristian Martínez Altamirano (Administrador de talleres de mantenimiento del Municipio del Tena)
ADM6	Ing. Miguel Malavé (Administrador del mantenimiento del colegio CHIRIBOGA)
ADM7	Patricio Fernando Haro Arteaga (Administrador de taller de mantenimiento de ITS Carlos Cisneros)

**Tabla 8-3 (Continuación):** Listado de especialistas en la gestión mantenimiento.

ADM8	Ing. José Luis Gómez (Administrador del mantenimiento de la obra civil del MUNICIPIO DE RIOBAMBA)
ADM9	(Administrador del mantenimiento de la obra civil del GAD PROVINCIAL)

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

3.1.3.1 *Entrevista de especialistas.* En el proceso de evaluación de la gestión de mantenimiento, por medio de las entrevistas se pudo conocer el argumento de cada uno de los especialistas, según su grado de experiencia y conocimiento.

Gracias a la realización de esta entrevista se pudo obtener el nivel de importancia que tendrá cada criterio y sub-criterio respectivamente, según el juicio de los especialistas.

La primera parte de la entrevista consistió en, dar a conocer el trabajo que se está desarrollando y lo que se pretende alcanzar. Además de dar a conocer cómo se maneja el instrumento de valoración (ver Figura 2-3)

Este método de valoración permite visualizar la importancia que tiene un criterio respecto a otro.

En la Figura 2-3, si el especialista cree que la organización general de mantenimiento tiene el mismo valor de importancia que recursos humanos, dará un valor de 1, posteriormente sí, organización general de mantenimiento es 7 veces más importante que el control económico del mantenimiento, de acuerdo al juicio del especialista, esté valor ira del lado de donde se encuentre el criterio. De esta manera se evaluará cada uno de los criterios y sub-criterios ya citados.

Cabe recalcar que, para obtener una mayor eficacia con este método de valoración, es necesario prever que no existan contradicciones al comparar un criterio con respecto al otro, para no tener incongruencias en la tabulación de las matrices.

MATRIZ DE COMPARACIÓN PAREADA DE CRITERIOS DE MANTENIMIENTO																	
CRITERIOS DE MANTENIMIENTO	Importancia						Igual	Importancia						CRITERIOS DE MANTENIMIENTO			
	Extrema	Muy fuerte	Fuerte	Moderada				Extrema	Muy fuerte	Fuerte	Moderada						
OM							X									RH	Recursos humanos de mantenimiento
		X														CE	Control económico del mantenimiento
							X									PC	Planificación, programación y control
			X													TM	Tercerización del mantenimiento
									X							MI	Manejo de inventario para mantenimiento
RH	X															CE	Control económico del mantenimiento
				X												PC	Planificación, programación y control
																TM	Tercerización del mantenimiento
						X										MI	Manejo de inventario para mantenimiento
CE													X			PC	Planificación, programación y control
							X									TM	Tercerización del mantenimiento
												X				MI	Manejo de inventario para mantenimiento
PC		X														TM	Tercerización del mantenimiento
														X		MI	Manejo de inventario para mantenimiento
																MI	Manejo de inventario para mantenimiento
TM																MI	Manejo de inventario para mantenimiento

**Figura 2-3:** Instrumento de valoración y comparación de criterios.  
Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

3.1.3.2 *Tabulación de valoraciones de los entrevistados.* De acuerdo con los resultados obtenidos en las entrevistas, se prosigue a la construcción de una tabla de matrices a la que se le denominará tabla de comparación pareada, la cual se la obtendrá como se muestra en la **Figura 3-3**.

DOC6	OM	RH	CE	PC	TM	MI
OM	1	1	7	1	7	3
RH	1	1	9	3	9	5
CE	1/7	1/9	1	1/7	1	1/5
PC	1	1/3	7	1	7	1
TM	1/7	1/9	1	1/7	1	1/5
MI	1/3	1/5	5	1	5	1

**Figura 3-3:** Matriz de comparación pareada

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

La tabla debe cumplir con las siguientes propiedades como son:

3.1.3.3 *Reciprocidad de la matriz de comparación pareada.* Se debe tomar en cuenta que, si al momento que el encuestado da una valoración para un criterio, cuando se realiza la matriz de comparación pareada, se debe poner el inverso del valor en el criterio contra el que se evaluó el primero criterio (ver **Figura 4-3**).

DOC6	OM	RH	CE	PC	TM	MI
OM	1	1	7	1	7	3
RH	1	1	9	3	9	5
CE	1/7	1/9	1	1/7	1	1/5
PC	1	1/3	7	1	7	1
TM	1/7	1/9	1	1/7	1	1/5
MI	1/3	1/5	5	1	5	1

**Figura 4-3:** Matriz de comparación pareada.

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

3.1.3.4 *Homogeneidad de la matriz de comparación pareada.* Esta propiedad de refiere a que, si al momento que el especialista en su evaluación dio un punto de vista en el cual los dos criterios son iguales, entonces los dos valores tendrán el mismo valor, el cual será determinado por el número 1, como se muestra en la **Figura 5-3**.

DOC6	OM	RH	CE	PC	TM	MI
OM	1	1	7	1	7	3
RH	1	1	9	3	9	5
CE	1/7	1/9	1	1/7	1	1/5
PC	1	1/3	7	1	7	1
TM	1/7	1/9	1	1/7	1	1/5
MI	1/3	1/5	5	1	5	1

**Figura 5-3:** Matriz de comparación pareada.

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

3.1.3.5 *Consistencia de la matriz de comparación pareada.* Esta propiedad permite ver que las valoraciones dadas por los especialistas son consistentes a su criterio. Esto se

logra por medio del cálculo del Ratio de Inconsistencia (IR), la cual debe tener un porcentaje menor al diez por ciento (10%) para que pueda ser vista como una “Consistencia Razonable”.

Para poder obtener el IR se calcula la sumatoria total de las columnas, y después se deber realizar una matriz normalizada, ésta es resultado de la división de cada celda por su respectivo total de columna (ver Figura 6-3)

DOC6	OM	RH	CE	PC	TM	MI
OM	0,2763	0,3629	0,2333	0,1591	0,2333	0,2885
RH	0,2763	0,3629	0,3000	0,4773	0,3000	0,4808
CE	0,0395	0,0403	0,0333	0,0227	0,0333	0,0192
PC	0,2763	0,1210	0,2333	0,1591	0,2333	0,0962
TM	0,0395	0,0403	0,0333	0,0227	0,0333	0,0192
MI	0,0921	0,0726	0,1667	0,1591	0,1667	0,0962

**Figura 6-3:** Matriz normalizada.

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

Después se prosigue a obtener la matriz promedio, calculando el promedio de cada fila de la matriz normalizada. La sumatoria de los resultados obtenidos debe dar el valor de uno, como se muestra en la **Figura 7-3**.

MATRIZ NORMALIZADA							MATRIZ PROMEDIO
DOC6	OM	RH	CE	PC	TM	MI	
OM	0,2763	0,3629	0,2333	0,1591	0,2333	0,2885	0,2589
RH	0,2763	0,3629	0,3000	0,4773	0,3000	0,4808	0,3662
CE	0,0395	0,0403	0,0333	0,0227	0,0333	0,0192	0,0314
PC	0,2763	0,1210	0,2333	0,1591	0,2333	0,0962	0,1865
TM	0,0395	0,0403	0,0333	0,0227	0,0333	0,0192	0,0314
MI	0,0921	0,0726	0,1667	0,1591	0,1667	0,0962	0,1255
							1

**Figura 7-3:** Matriz promedio.

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

Consecuentemente se calcula el vector fila total, el mismo que se lo obtendrá por medio del producto entre la matriz de comparación pareada y la matriz promedio, como se observa en la **Figura 8-3**.

MATRIZ DE COMPARACION PAREADA							MATRIZ PROMEDIO	VECTOR FILA TOTAL
DOC6	OM	RH	CE	PC	TM	MI		
OM	1	7	1	7	1	3	0,2589	1,62792995
RH	1/7	1	9	3	9	5	0,3662	2,37769691
CE	1/7	1/9	1	1/7	1	1/5	0,0314	0,19223993
PC	1	1/3	7	1	7	1	0,1865	1,13270184
TM	1/7	1/9	1	1/7	1	1/5	0,0314	0,19223993
MI	1/3	1/5	5	1	5	1	0,1255	0,7856556

**Figura 8-3:** Vector fila total.

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

Una vez obtenido el vector fila total y la matriz promedio se calcula el vector cociente, el cual es resultado de la división entre la celda del vector fila total, con su correspondiente de la matriz promedio (ver **Figura 9-3**)

VECTOR COCIENTE	
	6,287717219
	6,492711445
	6,121609284
	6,072410363
	6,121609284
	6,258009953
<b>λ máx =</b>	<b>6,225677925</b>

**Figura 9-3:** Vector cociente.

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

El valor de  $\lambda$  máx. no es más que el promedio del vector cociente.

A continuación, se determina el índice de consistencia (IC), el cual está en función de  $\lambda$  máx. y de la dimensión de la matriz (n), utilizando la ecuación (1):

$$CI = \frac{6,225678 - 6}{6 - 1} = 0,04513$$

Por último, para poder obtener IR se debe conocer el índice de consistencia aleatoria (RI), el cual se encuentra establecido en la tabla 2-3, misma que para una matriz de 6 x 6 da un valor igual a 1,252. Y utilizando la ecuación (2) se obtiene:

$$IR = \frac{0,045136}{1,252} = 0,0361$$

Esto dice que el IR obtenido por nuestro encuestado es de un 4%, encontrándose dentro de los límites establecidos (ver Tabla 4-3), siendo un valor aceptable.

En la tabla 3-9, se presenta un resumen de los resultados de los ratios de consistencia (RC) de los encuestados.

**Tabla 9-3:** Ratios de consistencia.

ESPECIALISTAS DOCENTES	RATIOS DE CONSISTENCIA												
	DOC1	DOC2	DOC3	DOC4	DOC5	DOC6	DOC7	DOC8	DOC9	DOC10	DOC11	DOC12	DOC13
	0,0347	0,0794	0,0901	0,0970	0,0811	0,0361	0,0884	0,0414	0,0828	0,0934	0,1024	0,0519	0,0910

ESPECIALISTAS EXPERTOS EN MANTENIMIENTO	RATIOS DE CONSISTENCIA							
	ESP1	ESP2	ESP3	ESP4	ESP5	ESP6	ESP7	ESP8
	0,0947	0,0795	0,0489	0,0605	0,0909	0,0637	0,0836	0,0622

ESPECIALISTAS EN ADMINISTRADORES DE MANTENIMIENTO	RATIOS DE CONSISTENCIA								
	ADM1	ADM2	ADM3	ADM4	ADM5	ADM6	ADM7	ADM8	ADM9
	0,0883	0,0630	0,0598	0,0854	0,0914	0,0933	0,0923	0,0847	0,0000

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

Los valores de RC de los treinta encuestados cumplen con la condición de ser menor o igual al diez por cierto (10%).

**3.1.4 Determinación de las ponderaciones.** Una vez verificado el grado de consistencia requerido por la matriz de comparación pareada, se determinan los pesos que tienen los criterios y sub-criterios. Para esto se debe multiplicar la matriz de comparación pareada por sí misma, como se muestra en la **Figura 10-3**.

MATRIZ DE COMPARACION PAREADA						
DOC6	OM	RH	CE	PC	TM	MI
OM	1	1	7	1	7	3
RH	1/7	1	9	3	9	5
CE	1/7	1/9	1	1/7	1	1/5
PC	1	1/3	7	1	7	1
TM	1/7	1/9	1	1/7	1	1/5
MI	1/3	1/5	5	1	5	1

MATRIZ DE COMPARACION PAREADA						
DOC6	OM	RH	CE	PC	TM	MI
OM	1	1	7	1	7	3
RH	1/7	1	9	3	9	5
CE	1/7	1/9	1	1/7	1	1/5
PC	1	1/3	7	1	7	1
TM	1/7	1/9	1	1/7	1	1/5
MI	1/3	1/5	5	1	5	1

**Figura 10-3:** Producto entre matrices de comparación pareada.

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

Una vez realizado este proceso se obtiene la matriz denominada primer producto, de la cual resulta un total de cada una de sus filas, este es el vector suma. Teniendo los valores de vector suma de las filas correspondientes, se calcula la sumatoria total del vector, después de esto se divide el total del vector suma por cada una de las celdas del mismo, para obtener el vector propio (ver Figura 11-3)

PRIMER PRODUCTO								VECTOR SUMA	VECTOR PROPIO
DOC6	OM	RH	CE	PC	TM	MI			
OM	6,00	4,49	52,00	10,00	52,00	14,80	139,29	0,25574249	
RH	9,24	6,00	80,00	14,57	80,00	19,60	209,41	0,38448805	
CE	0,75	0,56	6,00	1,10	6,00	1,73	16,14	0,02964272	
PC	4,67	3,42	36,00	6,00	36,00	9,47	95,56	0,17544555	
TM	0,75	0,56	6,00	1,10	6,00	1,73	16,14	0,02964272	
MI	3,30	2,18	26,13	4,36	26,13	6,00	68,10	0,12503847	
<b>TOTAL</b>							<b>544,65</b>	<b>1</b>	

**Figura 11-3:** Vector suma y vector propio.

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

La sumatoria de la columna del vector propio debe dar como resultado uno (1).

Se realiza este procedimiento hasta que el resultado de sus cuatro primeras cifras de los componentes del vector obtenido, sean iguales a las cuatro primeras cifras de los componentes del vector resultante de la multiplicación anterior como muestra en la Figura 12-3.

VECTOR PROPIO	VECTOR PROPIO	VECTOR PROPIO
0,25574249	0,259361875	0,2593618
0,38448805	0,376383135	0,37638348
0,02964272	0,030587113	0,03058708
0,17544555	0,17928485	0,17928463
0,02964272	0,030587113	0,03058708
0,12503847	0,123795913	0,12379593
1	1	1

**Figura 12-3:** Comparación de vectores propios.

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

Se sigue el mismo procedimiento para todas las matrices de comparación pareada de los grupos encuestados.

Conseguidos los valores de los vectores propios del grupo N°.1 (especialistas docentes), se procede a calcular los valores de agregación, a través de la media geométrica de cada criterio obtenido en el vector propio de cada criterio, este proceso se aplica para cada grupo de especialistas (ver Figura 13-3).

Los valores normalizados de la agregación obtenida por cada criterio, se la obtiene dividiendo cada celda de la agregación por el total de la misma. Obteniendo así los pesos de los criterios según cada uno de los encuestados y sus respectivas valoraciones iniciales.

VALORES DE VECTOR PROPIO GRUPO No.1															
CRITERIOS	DOC1	DOC2	DOC3	DOC4	DOC5	DOC6	DOC7	DOC8	DOC9	DOC10	DOC11	DOC12	DOC13	AGREGACIÓN	NORMALIZACIÓN
	OM Organización general del mantenimiento	0,28	0,32	0,23	0,41	0,45	0,26	0,26	0,40	0,48	0,09	0,28	0,36	0,17	0,28
RH Recursos humanos de mantenimiento	0,10	0,32	0,36	0,16	0,16	0,38	0,17	0,15	0,14	0,14	0,33	0,11	0,13	0,18	0,21
CE Control económico de mantenimiento	0,24	0,11	0,10	0,12	0,20	0,03	0,19	0,20	0,17	0,22	0,03	0,10	0,09	0,12	0,13
PC Planificación, programación y control	0,22	0,08	0,17	0,23	0,09	0,18	0,27	0,12	0,05	0,47	0,13	0,15	0,48	0,17	0,19
TM Tercerización de	0,08	0,08	0,07	0,03	0,06	0,03	0,07	0,08	0,06	0,03	0,08	0,21	0,05	0,06	0,07
MI Manejo de inventario para mantenimiento	0,08	0,09	0,08	0,04	0,05	0,12	0,03	0,06	0,11	0,05	0,15	0,08	0,08	0,07	0,08
SUMATORIA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,88	1

**Figura 13-3:** Grupo1, valores normalizados.

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

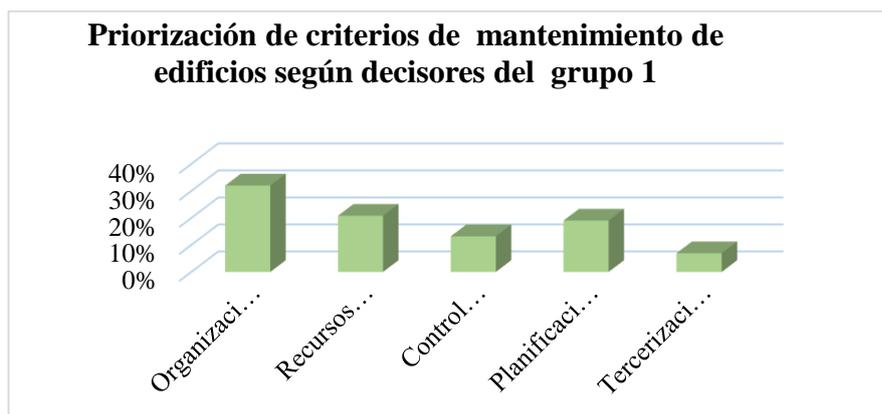
La Tabla 10-3 presenta las ponderaciones de cada uno de los criterios establecidos para evaluar la gestión de mantenimiento y su respectivo grupo.

**Tabla 10-3:** Pesos de criterios.

PONDERACIONES GRUPO NO.1: ESPECIALISTAS DOCENTES			
CRITERIOS DE MANTENIMIENTO			
JERARQUIZADOS		PESOS	PORCENTAJE
OM	Organización general del mantenimiento	0,319846198	32%
RH	Recursos humanos de mantenimiento	0,207952164	21%
CE	Control económico de mantenimiento	0,1318746	13%
PC	Planificación, programación y control	0,190021996	19%
TM	Tercerización de mantenimiento	0,069085432	7%
MI	Manejo de inventario para mantenimiento	0,08121961	8%

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

En la **Figura 14-3** se puede apreciar que la organización de mantenimiento fue el más importante para los especialistas docentes según su criterio, con un treinta y dos por ciento (32%).



**Figura 14-3:** Ponderación de criterios de mantenimiento grupo 1.

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

Al realizar este mismo procedimiento con todos los grupos de encuestados como el grupo N°.2 (especialistas expertos en mantenimiento) y el grupo N°.3 (especialistas en administradores de mantenimiento), se obtendrán los pesos de los criterios por cada grupo, los cuales se los debe sacar su agregación por medio de la media geométrica y su normalización obteniendo los siguientes resultados (ver **Tabla 11-3**).

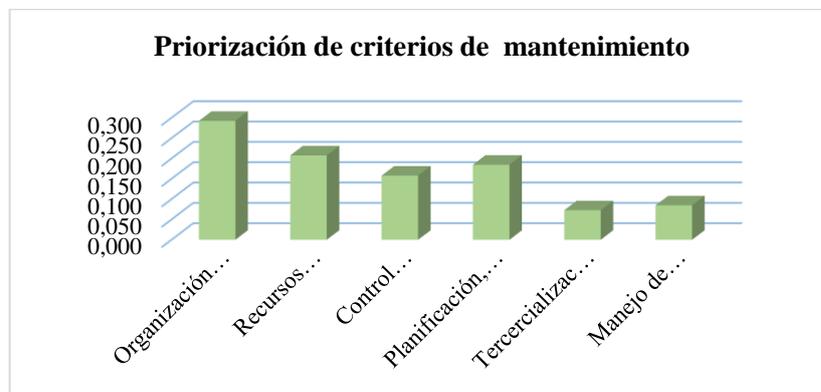
Evaluando la Figura 15-3, se determina que en el criterio con más peso es el de organización general de mantenimiento con un veinte nueve por ciento (29%), seguido por recursos humanos con un veinte y uno por ciento (21%), planificación, programación y control esta con un dieciocho por ciento (18%), control económico de mantenimiento con un dieciséis por ciento (16%), seguido de manejo de inventario para mantenimiento

con ocho por ciento (8%) y por último tercerización de mantenimiento con un siete por ciento (7%).

**Tabla 11-3:** Ponderación de los criterios de la gestión de mantenimiento.

CRITERIOS DE MANTENIMIENTO JERARQUIZADOS		DOCENTES	ESPECIALISTAS	ADMINISTR	AGREGACIÓN	NORMALIZACIÓN	PORCENTAJE
OM	Organización general del mantenimiento	0,3198	0,2876	0,2670	0,2907	0,2926	29%
RH	Recursos humanos de mantenimiento	0,2080	0,2399	0,1756	0,2062	0,2075	21%
CE	Control económico de mantenimiento	0,1319	0,1689	0,1731	0,1568	0,1578	16%
PC	Planificación, programación y control	0,1900	0,1461	0,2224	0,1835	0,1846	18%
TM	Tercerización de mantenimiento	0,0691	0,0724	0,0753	0,0722	0,0727	7%
MI	Manejo de inventario para mantenimiento	0,0812	0,0850	0,0866	0,0842	0,0848	8%
SUMATORIA		1	1	1	0,99358	1	100%

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018



**Figura 15-3:** Priorización de criterios de mantenimiento.

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

3.1.5 **Determinación de las ponderaciones de los sub-criterios.** Para poder obtener las ponderaciones de los sub-criterios, se lo realizará de la misma manera que los criterios.

1. Determinado primero que el ratio de consistencia esté en el límite previamente establecido, para lo cual se deberá realizar la matriz de comparación pareada.
2. Se obtendrá sus debidas ponderaciones por medio de la agregación que se realiza por medio de la media geométrica y sus respectivas normalizaciones.

Cabe mencionar que en el caso de los sub-criterios, una vez obtenidos sus pesos, estos deberán ser multiplicados por la ponderación padre mismo que será el peso del criterio que contiene al su sub-criterio correspondiente.

En la Figura 16-3 se puede observar las ponderaciones obtenidas de los sub-criterios de acuerdo con los especialistas encuestados y sus respectivos grupos.

CRITERIOS DE MANTENIMIENTO O JERARQUIZADOS		SUBCRITERIOS		DOCENTES	ESPECIALISTAS	ADMINISTRADOR	AGREGACIÓN	NORMALIZACIÓN	PORCENTAJE	PONDERACION PADRE	PESO RELATIVO
OM	Organización general del mantenimiento	OM1	Políticas de mantenimiento	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	29%	0,146
		OM2	Herramienta informática para la gestión de mantenimiento	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500		0,146
				1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000		
RH	Recursos humanos de mantenimiento	RH1	Formación profesional	0,468	0,373	0,468	0,434	0,436	0,436	21%	0,091
		RH2	Capacitación y entrenamiento	0,379	0,392	0,354	0,375	0,377	0,377		0,078
		RH3	Cantidad de personal de mantenimiento	0,153	0,236	0,178	0,186	0,187	0,187		0,039
				1,000	1,000	1,000	0,994	1,000	1,000		
CE	Control económico de mantenimiento	CE1	Presupuesto de mantenimiento	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	16%	0,079
		CE2	Porcentaje de cumplimiento de presupuesto ejecutado	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500		0,079
				1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000		
PC	Planificación, programación y control	PC1	Inventario jerárquico y codificado de instalaciones a mantener.	0,281	0,159	0,235	0,219	0,222	0,222	18%	0,041
		PC2	Plan de mantenimiento	0,251	0,240	0,322	0,269	0,273	0,273		0,050
		PC3	Programación de actividades de mantenimiento	0,164	0,208	0,170	0,180	0,182	0,182		0,034
		PC4	Documentos de mantenimiento	0,120	0,164	0,142	0,141	0,143	0,143		0,026
		PC5	Control de la ejecución del mantenimiento planificado	0,184	0,230	0,130	0,177	0,179	0,179		0,033
				1,000	1,000	1,000	0,985	1,000	1,000		
TM	Tercerización de mantenimiento	TM1	Política de contratación	0,356	0,385	0,252	0,325	0,329	0,329	7%	0,024
		TM2	Especificaciones técnicas de los trabajos	0,349	0,304	0,311	0,321	0,324	0,324		0,024
		TM3	Supervisión de los trabajos de mantenimiento	0,295	0,311	0,438	0,343	0,346	0,346		0,025
				1,000	1,000	1,000	0,989	1,000	1,000		
MI	Manejo de inventario para mantenimiento	MI1	Maestro de ítems	0,401	0,410	0,228	0,335	0,346	0,346	8%	0,029
		MI2	Control de existencias	0,269	0,415	0,416	0,360	0,372	0,372		0,032
		MI3	Inventario valorado de ítems	0,330	0,175	0,356	0,274	0,283	0,283		0,024
SUMATORIA				1,000	1,000	1,000	0,968	1,000	1,000	1,000	

**Figura 16-3:** Pesos de sub-criterios

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

3.1.6 *Instrumento de evaluación para la gestión de mantenimiento.* Posterior a la obtención de los pesos de los criterios y sub-criterios, se realiza el instrumento de evaluación. En el instrumento de evaluación se establece el objetivo que se pretende

alcanzar, la forma en que se va a calificar el cumplimiento del requerimiento donde se solicita la existencia de evidencia física o digital. Además, los niveles de exigencia del criterio donde se dará la puntuación que alcance. En la **Figura 17-3** y **Figura 18-3** se puede observar un ejemplo de las fichas de evaluación para los requerimientos del criterio organización general del mantenimiento.

### REQUERIMIENTO OM: Organización general del mantenimiento

#### Sub-criterio OM1: Políticas de mantenimiento

<b>Criterio de evaluación:</b>	<b>OM1:</b> <i>Políticas de mantenimiento</i>		
<b>Objetivo:</b>	Establecer un compromiso por parte de todos los involucrados para impulsar la conservación de activos a través del mantenimiento.		
<b>Método de evaluación:</b>	Se evalúan las evidencias físicas a través de documentos impresos o digitales que demuestren la disposición de políticas de mantenimiento.	<b>Tipo de evaluación:</b>	Características
<b>Niveles de referencia</b>	<b>Exigencias del criterio</b>	<b>Puntuación</b>	<b>Valoración</b>
<b>Deficiente</b>	No se dispone.	0	
<b>Poco satisfactorio</b>	Documento con la política de mantenimiento.	0,35	
<b>Cuasi satisfactorio</b>	Documento actualizado en los últimos 5 años	0,7	
<b>Satisfactorio</b>	Se está aplicando la política de mantenimiento.	1	
<b>Comentario:</b> Se asignará la puntuación respectiva de cada nivel, al cumplimiento de todas las exigencias.			
<b>Elaborado por:</b> Ing. Sergio Villacrés e Ing. Mayra Viscaino			

**Figura 17-3:** Instrumento de evaluación del sub-criterio políticas de mantenimiento

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

En el anexo A y B se puede observar las fichas de evaluación de todos los requerimientos a evaluar con la existencia o no de sus evidencias físicas.

Estos criterios de evaluación fueron realizados, de tal manera que permita tener una valoración de la gestión de mantenimiento. Para el método de evaluación se debe constar de evidencia física y operativa en caso de cumplir con los niveles de exigencia establecido en el instrumento de evaluación.

Cada nivel de exigencia tendrá una valoración, la cual se debe llenar en el orden establecido. Se debe tener en cuenta que, al no cumplir con uno de los niveles de exigencia, no se podrá avanzar al siguiente nivel, por ende, si cumple con el nivel de cuasi satisfactorio y no cumple con el nivel poco satisfactorio, el nivel cuasi satisfactorio no será válido, ni los niveles siguientes.

## REQUERIMIENTO OM: Organización general del mantenimiento.

### Sub-criterio OM2: Herramienta informática (software) para la gestión de mantenimiento

<b>Criterio de evaluación:</b>	<b>OM2:</b> <i>Herramienta informática para la gestión de mantenimiento de los activos.</i>		
<b>Objetivo:</b>	Gestionar toda la información relacionada con el mantenimiento de activos de manera ágil y oportuna, para asegurar una administración eficiente del mantenimiento.		
<b>Método de evaluación:</b>	Se evalúan las evidencias físicas de instalación del software y de la operatividad del mismo, para el cumplimiento de la exigencia del criterio.	<b>Tipo de evaluación:</b>	Características
<b>Niveles de referencia</b>	<b>Exigencias del criterio</b>	<b>Puntuación</b>	<b>Valoración</b>
<b>Deficiente</b>	No dispone de CMMS/GMAO (Computer maintenance management system) ó Dispone de CMMS, pero no lo utiliza. Evidencia: verificar que esté instalado el CMMS	0	
<b>Poco satisfactorio</b>	Dispone de CMMS, pero lo usa únicamente para registrar los trabajos correctivos. Evidencia a solicitar: órdenes de trabajo correctivas de los últimos 15 días.	0,35	
<b>Cuasi satisfactorio</b>	Dispone de CMMS y lo usa para gestionar el mantenimiento preventivo. Evidencia a solicitar: plan de mantenimiento emitido por el CMMS y órdenes de trabajo preventivas emitidas en los últimos 15 días.	0,7	
<b>Satisfactorio</b>	Dispone de CMMS y lo utiliza para calcular los indicadores de gestión de mantenimiento. Evidencia a solicitar: Reporte de costos, disponibilidad, tiempo medio entre fallas y tiempo medio para reparación.	1	
<b>Comentario:</b> Se asignará la puntuación respectiva de cada nivel, al cumplimiento de todas las exigencias.			
<b>Elaborado por:</b> Ing. Sergio Villacrés e Ing. Mayra Viscaino			

**Figura 18-3:** Instrumento de evaluación del sub-criterio herramienta informática para la gestión de mantenimiento.

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

Una vez evaluado todos los criterios con sus respectivas evidencias físicas y operativas, se desarrolla el umbral, el cual permite comparar los valores obtenidos de la gestión de mantenimiento en la ESPOCH. Éstos a su vez ayudarán a conocer el nivel de cumplimiento de la gestión de mantenimiento en la institución.

La respectiva calificación permite categorizar acorde a una valoración establecida. Los valores obtenidos deben estar en los rangos previamente mencionados, como se muestra en la **Tabla 12-3**.

**Tabla 12-3:** Categorización de la gestión de mantenimiento.

CATEGORIA	VALORACIÓN
Deficiente	0
Poco satisfactorio	0,35
Cuasi satisfactorios	0,7
Satisfactorios	1

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

### 3.2 Plan de mantenimiento centrado en confiabilidad.

La aplicación de la metodología a emplearse en el desarrollo del plan de mantenimiento se denomina RCM abreviado. La metodología está basada en el RCM clásico con ciertas modificaciones en el análisis de los fallos y en la forma de determinar las tareas de mantenimiento de los activos en análisis.

La primera parte de la planificación del mantenimiento se basa en conocer todos los bienes que se van a mantener, por lo que es necesario realizar el inventario técnico de los mismos.

3.2.1 *Inventario técnico de mantenimiento y codificación.* El inventario técnico se ha dividido en dos partes:

1. Infraestructura civil de la Carrera de Ingeniería de Mantenimiento y la Facultad de Mecánica.
2. Maquinaria y equipos de talleres y laboratorios de la Carrera de Ingeniería de Mantenimiento y la Facultad de Mecánica.

La recopilación de datos de las edificaciones que componen la Carrera de Ingeniería de Mantenimiento y la Facultad de Mecánica se ha realizado en base a la información proporcionada por el Departamento de Mantenimiento y Desarrollo Físico (DMDF) y en base a una inspección realizada en cada una de las instalaciones.

Dentro del proyecto se contempla toda la infraestructura académica que es utilizada por personal académico y de servicios de la Facultad. En la **Tabla 13-3** se muestra cada una de las edificaciones que son parte del estudio, con su respectiva clave catastral, codificación que ha sido determinada por el DMDF.

**Tabla 13-3:** Clave catastral de los edificios de la Facultad de Mecánica

CLAVE CATASTRAL	DESCRIPCIÓN
UA3N03-080-27	Carrera de Mantenimiento Industrial
UA3N03-080-19	Asociación Carrera de Mantenimiento Industrial
UA3N03-080-17	Taller de Reparaciones de la Facultad de Mecánica
UA3N03-080-32	Taller de Fundición
UA3N03-120-09	Biblioteca Facultad de Mecánica
UA3N03-120-10	Bloque de aulas de la Facultad de Mecánica
UA3N03-080-01	Laboratorios de la Facultad de Mecánica

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

Donde:

UA3: Nomenclatura definida para Unidades Académicas.

N03: Nomenclatura definida para todas las edificaciones de la Facultad de Mecánica.

080-120: Número de manzana en la ESPOCH.

27: Número de predio dentro de la manzana.

3.2.1.1 *Estructura jerárquica.* La jerarquización de los activos que se va a inventariar para el mantenimiento se la realizará de acuerdo con el esquema de la Figura 19-3. El nivel 1 corresponderá a “Facultad de Mecánica”, dentro del cual se encontrará a todos los edificios de la Facultad. En el nivel 2 se especificará cada uno de los edificios de la facultad con su respectivo nombre. El nivel 3, es el nivel de sistemas, se especificará cada área arquitectónica que ha sido empleada como: aulas, laboratorios, bodegas, baterías sanitarias, oficinas, salas de estudio, cafetería, halls, etc. Para el nivel 4, se enlistarán todos los equipos que se encuentren dentro de cada sistema, en estos se han considerado: iluminación, sistema de fuerza, equipos civiles, interruptores, dispositivos de seguridad, etc. Para el nivel 5 se enlistarán los componentes de los equipos existentes, principalmente de los equipos civiles.

---

Nivel 1: Facultad de Mecánica

---

Nivel 2: Edificio de la Facultad

---

Nivel 3: Área Arquitectónica

---

Nivel 4: Equipos del área arquitectónica del nivel 3

---

Nivel 5: Componentes de los equipos de nivel 4

---

**Figura 19-3:** Estructura jerárquica para inventario de edificios.

**Elaborado por:** Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

3.2.1.2 *Codificación.* Para la infraestructura civil se ha considerado la definición de una codificación paralela a la clave catastral manejada por el DMDF, con el propósito de facilitar la identificación de cada uno de los edificios. Esto en acuerdo previo con el DMDF, en la Tabla 14-3 se muestra la codificación de mantenimiento propuesta para cada edificio:

**Tabla 14-3:** Codificación de edificios de la Facultad de Mecánica

<b>CODIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
M-27	Edificio M27: Carrera de Mantenimiento Industrial
M-19	Edificio M19: Asociación Carrera de Mantenimiento Industrial
M-17	Edificio M17: Taller de Reparaciones de la Facultad de Mecánica
M-32	Edificio M32: Taller de Fundición
M-49	Edificio M49: Biblioteca Facultad de Mecánica
M-50	Edificio M50: Bloque de aulas de la Facultad de Mecánica
M-51	Edificio M51: Laboratorios de la Facultad de Mecánica

**Elaborado por:** Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

Donde:

M: Facultad de Mecánica. (Primer nivel)

27: Número de edificio de la Facultad de Mecánica. (Segundo nivel).

El número de edificio en la codificación propuesta es el mismo número de predio que éste ocupa en la clave catastral, con el fin de facilitar su ubicación dentro de la ESPOCH a excepción de los edificios que poseen el mismo número de predio, pero en distintas manzanas. Para esos edificios se dará el número que continúa, es así, para el caso de los edificios M-49, M-50 y M-51.

3.1.2.3 *Áreas arquitectónicas de los edificios.* Cada una de las edificaciones cuenta con distintas sub-divisiones, las cuales han sido empleadas como aulas, laboratorios, bodegas, baterías sanitarias, oficinas, salas de estudio, cafetería, etc., por lo que son consideradas como áreas arquitectónicas. Las áreas mencionadas tendrán su codificación correspondiente de acuerdo con su ubicación dentro del edificio (ver **Tabla 15-3**).

**Tabla 15-3:** Codificación de áreas

<b>Código</b>	<b>Ubicación</b>
000 – 099	Planta baja
100 – 199	Primera planta alta
200 – 299	Segunda planta alta
300 – 399	Tercera planta alta

**Elaborado por:** Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

Así, tomando en cuenta el nivel donde se encuentra el área arquitectónica será codificada con la numeración que corresponde. Entonces, para las áreas de la planta baja de un edificio serán identificadas por los números que van del 000 al 099; para las áreas que se encuentran en la primera planta alta serán identificadas por los números que van del 100 al 199; y así irán de la misma forma para segunda, tercera y cuarta planta.

Teniendo así, cada una de las áreas arquitectónicas del edificio M-27 (ver **Tabla 16-3**).

**Tabla 16-3:** Listado de sistemas del edificio M-27

Código			DESCRIPCION
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	
M	27	002	LABORATORIO DE TERMODINÁMICA APLICADA
M	27	004	LABORATORIO DE MECATRÓNICA
M	27	006	SALÓN AZUL
M	27	008	S.S.H.H. 1
M	27	010	S.S.H.H. 2
M	27	012	LABORATORIO DE ELECTRICIDAD I
M	27	014	OFICINA 014 LABORATORIO DE ELECTRICIDAD I
M	27	016	S.S.H.H. LABORATORIO DE ELECTRICIDAD I
M	27	018	HALL PLANTA BAJA
M	27	102	LABORATORIO DE ELECTRÓNICA
M	27	104	LABORATORIO DE ELECTRICIDAD II Y MÁQUINAS ELÉCTRICAS
M	27	106	OFICINA DE CONSERJE
M	27	108	OFICINA 108 DE DOCENTES
M	27	110	LABORATORIO DE CÓMPUTO
M	27	112	DIRECCIÓN DE LA CARRERA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO
M	27	114	SALA DE REUNIONES
M	27	116	SECRETARÍA Y ARCHIVO
M	27	118	HALL DE SECRETARÍA
M	27	120	HALL PLANTA ALTA
M	27	900	EDIFICIO M27: CARRERA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO
M	27	910	GRADAS

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

Cabe señalar que se ha asignado un código específico dentro del tercer nivel jerárquico para graderíos, cisternas, instalaciones del edificio (eléctricas, sanitarias, agua potable) siendo:

- 900 para instalaciones del edificio.
- 910 para graderíos del edificio.
- 930 para cisternas.

Para el cuarto nivel se consideran como equipos a todo lo que se encuentra dentro de un sistema o área arquitectónica:

- Iluminación del área con especificaciones técnicas.
- Interruptores (simple accionamiento, doble accionamiento)
- Sistema de fuerza (tomacorrientes).
- Dispositivos de seguridad: lámparas de emergencia, cámaras de vigilancia, sensores de movimiento, sensores de humo y extintores.
- Tableros de control eléctrico (centros de carga).
- Infraestructura civil (cuarto, oficina, bodega, baño, hall, aula, laboratorio, etc.)

Todos los equipos que serán parte del inventario técnico serán codificados con una lista de tipos de equipos (ver **Tabla 17-3**). En esta lista se los clasifica de acuerdo con la familia de equipo y al tipo al que pertenecen. Se considera E: para familia de equipos eléctricos; M: para familia de equipos mecánicos; S: para familia de equipos de seguridad; C: para familia de equipos civiles y D: para familia de equipos informáticos.

3.1.2.4 *Familia y tipos de equipos.* Todos los equipos que han sido identificados durante las inspecciones de cada edificio:

**Tabla 17-3:** Familia y tipos de equipo

<b>Familia y tipos de equipos</b>		
<b>Familia</b>	<b>Tipo de equipo</b>	
<b>Código</b>	<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
E	IL	Iluminación
E	TM	Tomacorrientes
E	LE	Lámpara de emergencia
E	IN	Interruptores
E	CB	Caja de breakers
E	TE	Tableros eléctricos
S	SH	Sensor de humo
S	ET	Extintor
S	SM	Sensor de movimiento
S	CV	Cámara de vigilancia
D	PR	Punto de red
M	VV	Ventilador
C	BÑ	Baño
C	CU	Cuarto
C	ET	Estructura metálica
C	IE	Instalaciones eléctricas
C	IS	Instalaciones sanitarias
C	IA	Instalaciones de agua potable
C	FA	Fachada

**Tabla 17-3 (Continuación):** Familia y tipos de equipo

C	CB	Cubierta
C	GR	Gradas
C	HA	Hall
C	CS	Cisterna

Fuente: Software SisMAC

De ser necesario, estos equipos pueden ser divididos en componentes, para la familia de equipos civiles sus componentes serán:

- Cielo raso y piso del área arquitectónica.
- Paredes del área arquitectónica.
- Puertas y ventanas del área arquitectónica.

En el anexo C se muestra el inventario completo de las instalaciones.

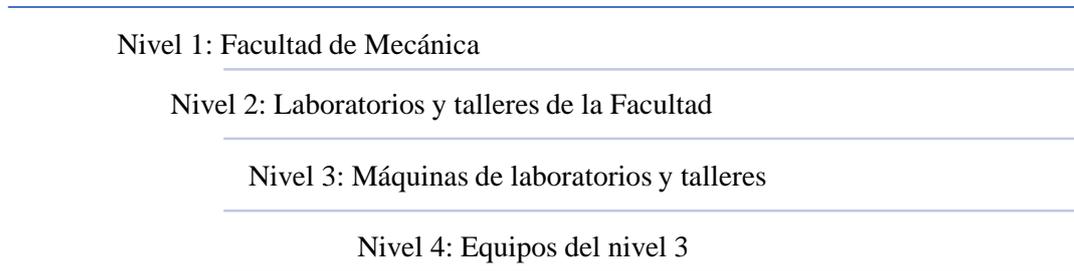
3.1.2.5 *Codificación de maquinaria y equipos de talleres y laboratorios.* Para el levantamiento de inventario de las máquinas y equipos existentes, es necesario primero identificar cada uno de los laboratorios y talleres que son parte del proyecto:

- Laboratorio de Termodinámica Aplicada.
- Laboratorio de Mecatrónica.
- Laboratorio de Electricidad I.
- Laboratorio de Electrónica.
- Laboratorio de Electricidad II y Máquinas Eléctricas.
- Taller de Reparaciones.
- Taller de Fundición.
- Laboratorio de Tintas Penetrantes.
- Laboratorio de Generación de Vapor.

Todos estos laboratorios y talleres se encuentran activos y son utilizados para el desarrollo de prácticas de laboratorio por los estudiantes.

3.1.2.6 *Estructura jerárquica de equipos de talleres y laboratorios.* Para la jerarquización de las máquinas y equipos de laboratorio se ha tomado en cuenta el esquema de la **Figura 20-3**, donde el nivel 1 corresponde a la “Facultad de Mecánica”; el nivel 2 corresponde a cada uno de los laboratorios y talleres; dentro del nivel 3 se describe las máquinas o

conjunto de equipos. Dentro del cuarto nivel se enlistan los equipos de cada laboratorio y taller.



**Figura 20-3:** Estructura jerárquica para inventario de maquinaria y equipos de laboratorio  
 Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

La codificación propuesta para las máquinas y equipos de laboratorio se elaboró de acuerdo con los niveles jerárquicos planteados, por lo que para cada laboratorio y taller será la mostrada en la **Tabla 18-3:**

**Tabla 18-3:** Listado de laboratorios y talleres de la Facultad.

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
M-L005	Laboratorio de Termodinámica Aplicada del Edificio M27
M-L010	Laboratorio de Mecatrónica del Edificio M27
M-L015	Laboratorio de Electricidad I del Edificio M27
M-L020	Laboratorio de Electrónica del Edificio M27
M-L025	Laboratorio de Electricidad II y Máquinas Eléctricas del Edificio M27
M-L030	Taller de Reparaciones de la Facultad de Mecánica Edificio M17
M-L035	Taller de Fundición Edificio M32
M-L040	Laboratorio de Tintas Penetrantes del Edificio M49
M-L045	Laboratorio de Generación de Vapor del Edificio M51

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

Donde:

M: Facultad de Mecánica (primer nivel)

L0XX: Laboratorio o taller de la Facultad de Mecánica (segundo nivel)

La codificación del segundo nivel está compuesta por un dígito alfanumérico donde la letra L describe a los laboratorios y talleres de la Facultad y la numeración será tomada de 5 en 5 (005,010...) para facilitar su identificación.

Para la codificación del nivel de máquina (nivel 3) se ha considerado el número total de máquinas o conjunto de equipos existentes dentro de cada laboratorio, como se describe

a continuación en la Tabla 19-3, Tabla 20-3, Tabla 21-3, Tabla 22-3, Tabla 23-3, Tabla 24-3, Tabla 25-3, Tabla 26-3, Tabla 27-3 respectivamente.

**Tabla 19-3:** Listado de máquinas del laboratorio de Termodinámica Aplicada

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
M-L005-001	Banco de pruebas de intercambiador de flujo cruzado
M-L005-002	Intercambiador de calor de camisa y serpentín
M-L005-003	Banco termodinámico para la determinación de la constante R
M-L005-004	Generador de hielo tubular
M-L005-005	Sistema de generación de vapor
M-L005-006	Intercambiador de calor de carcasa y tubos
M-L005-007	Intercambiador de calor de doble tubo
M-L005-008	Intercambiador de calor de placas
M-L005-009	Intercambiador de calor Baudelot
M-L005-010	Banco de refrigeración
M-L005-011	Equipos pasivos del laboratorio de termodinámica aplicada

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

**Tabla 20-3:** Listado de máquinas del laboratorio de Mecatrónica

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
M-L010-001	Sistema de aire comprimido del Laboratorio de Mecatrónica
M-L010-002	Módulos de tesis del Laboratorio de Mecatrónica
M-L010-003	Banco de pruebas del Laboratorio de Mecatrónica
M-L010-004	Módulo de prácticas del Laboratorio de Mecatrónica
M-L010-005	Equipos pasivos del Laboratorio de Mecatrónica

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

**Tabla 21-3:** Listado de máquinas del laboratorio de Electricidad I

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
M-L015-001	Banco de trabajo motor generador del Laboratorio de Electricidad I
M-L015-002	Fuentes de alimentación del Laboratorio de Electricidad I
M-L015-003	Banco resistencias lineales del Laboratorio de Electricidad I
M-L015-004	Equipos pasivos del Laboratorio de Electricidad I

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

**Tabla 22-3:** Listado de máquinas del laboratorio de Electrónica

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
M-L020-001	Fuentes de alimentación del Laboratorio de Electrónica
M-L020-002	Osciloscopios del Laboratorio de Electrónica

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

**Tabla 23-3:** Máquinas del laboratorio de Electricidad II y Máquinas Eléctricas

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
M-L025-001	Fuentes de alimentación del Laboratorio de Electricidad II y Máquinas Eléctricas

**Tabla 23-3 (Continuación):** Máquinas del laboratorio de Electricidad II y Máquinas Eléctricas

M-L025-002	Motores eléctricos del Laboratorio de Electricidad II y Máquinas Eléctricas
M-L025-003	Transformadores del Laboratorio de Electricidad II y Máquinas Eléctricas
M-L025-004	Instrumentos de medición del Laboratorio de Electricidad II y Máquinas Eléctricas
M-L025-005	Resistencias, capacitancias, inductancias del Laboratorio de Electricidad II y Máquinas Eléctricas
M-L025-006	Módulos de prácticas del Laboratorio de Electricidad II y Máquinas Eléctricas
M-L025-007	Equipos pasivos del Laboratorio de Electricidad II y Máquinas Eléctricas

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

**Tabla 24-3:** Listado de máquinas del taller de Reparaciones de la Facultad de Mecánica

Código	Descripción
M-L030-001	Sistema de aire comprimido del Taller de Reparaciones de la facultad de mecánica
M-L030-002	Equipos de mecanizado básico del Taller de Reparaciones de la facultad de mecánica

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

**Tabla 25-3:** Listado de máquinas del taller de Fundición

Código	Descripción
M-L035-001	Durómetro del Taller de Fundición
M-L035-002	Puente grúa del Taller de Fundición
M-L035-003	Muflas del Taller de Fundición
M-L035-004	Máquina para moldeo del Taller de Fundición
M-L035-005	Esmeriles del Taller de Fundición
M-L035-006	Hornos del Taller de Fundición
M-L035-007	Desmoldadora de arena del Taller de Fundición
M-L035-008	Controlador de temperatura del Taller de Fundición
M-L035-009	Equipo rectificador del Taller de Fundición
M-L035-010	Máquina de ensayo del Taller de Fundición
M-L035-011	Estufa del Taller de Fundición
M-L035-012	Equipos pasivos del Taller de Fundición

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

**Tabla 26-3:** Listado de máquinas del laboratorio de Tintas Penetrantes

Código			Descripción
M	L040	001	Planta de tratamientos superficiales del Laboratorio de Tintas Penetrantes

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

**Tabla 27-3:** Listado de máquinas del laboratorio de Generación de Vapor

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
M-L045-001	Sistema de alimentación de agua del Laboratorio de Generación de Vapor
M-L045-002	Sistema de ablandamiento de agua del Laboratorio de Generación de Vapor
M-L045-003	Sistema de suministro de combustible del Laboratorio de Generación de Vapor
M-L045-004	Sistema de distribución de Vapor del Laboratorio de Generación de Vapor
M-L045-005	Caldero del Laboratorio de Generación de Vapor
M-L045-006	Sistema de control del Laboratorio de Generación de Vapor
M-L045-007	Sistema de condensado del Laboratorio de Generación de Vapor
M-L045-008	Sistema de tratamiento químico del Laboratorio de Generación de Vapor

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

Para los equipos de talleres y laboratorios (nivel 4) se ha establecido la codificación respectiva dependiendo de la familia y tipo de equipo. En la **Tabla 28-3** se muestra cada una de las familias y tipos de equipos encontrados en los talleres y laboratorios.

Las familias de equipos que se localizaron son:

- M: Equipos mecánicos.
- I: Equipos de instrumentación.
- E: Equipos eléctricos.
- S: Equipos de seguridad.
- L: Equipos de laboratorio.
- T: Tesis/módulos de prácticas.

**Tabla 28-3:** Códigos de familia y tipos de equipos de laboratorio

<b>Familia y tipo de equipos</b>		
<b>Familia</b>	<b>Tipo de equipo</b>	
<b>Código</b>	<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
M	DR	Durómetro
M	EC	Equipo de carga
M	MF	Muflas
M	MD	Equipo de moldeo
M	EB	Esmeril de banco
M	HH	Horno
M	CP	Compresor
M	DP	Depósito
M	EQ	Tuberías, válvulas y accesorios
M	IC	Intercambiador de calor

**Tabla 28-3 (Continuación):** Códigos de familia y tipos de equipos de laboratorio

M	CL	Caldero
M	BB	Bomba de agua
M	QM	Quemador de caldero
M	TA	Taladro de banco
I	EC	Controlador
I	IN	Indicador
I	ME	Equipos de medición eléctricos
I	SE	Sensor
E	RC	Equipo rectificador
E	ME	Motor eléctrico
E	TE	Tablero eléctrico
E	TC	Tablero de control
E	BR	Brazo robótico
E	GP	Banco de pruebas motor-generator
E	MA	Módulo de alimentación
E	CR	Banco de condensadores, resistencias e inductancias
T	MT	Tesis/Módulos de prácticas
S	VS	Válvula de seguridad
L	OS	Osciloscopios

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

La importancia de la codificación radica en que dará información básica de:

- Ubicación del equipo, y
- Clase de equipo.

El código L010-002-EBR01 que corresponde al brazo robótico, indica que este equipo se encuentra en el laboratorio de Mecatrónica de la Facultad de Mecánica, que pertenece a la familia eléctrica, la clase brazo robótico y por último el número que indica la cantidad de equipos existentes de las misma familia y clase.

En el anexo D se muestra el inventario y codificación de máquinas y equipos de los talleres y laboratorios.

**3.2.2 Análisis de criticidad.** Para el análisis de criticidad se ha aplicado un método cualitativo, además, ha sido necesario elaborar una matriz para evaluar la criticidad de la infraestructura civil y otra matriz para evaluar la criticidad de los equipos de talleres y laboratorios.

**3.2.2.1 Evaluación de la criticidad de la infraestructura civil.** Los criterios mostrados en la Figura 3-2 no pueden ser directamente aplicados al mantenimiento civil de

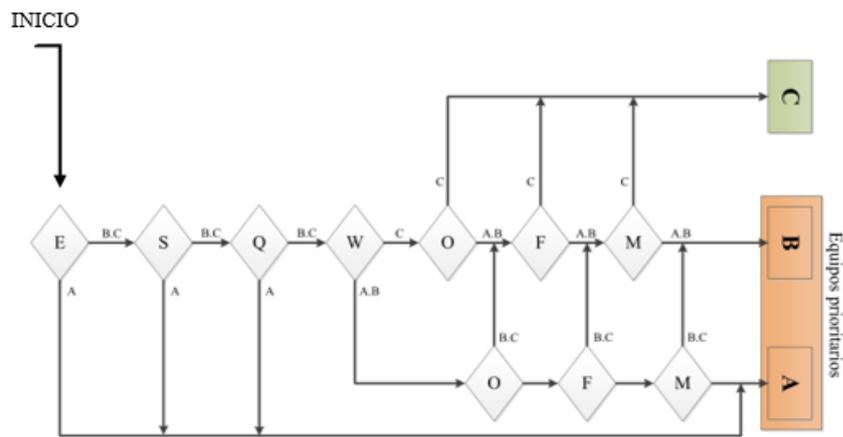
infraestructura académica y al mantenimiento de equipos de laboratorio ya que algunos de ellos evalúan las consecuencias que se tienen dentro del área productiva en la industria. Entonces, ha sido necesario prestar el enfoque correcto a los criterios que se van a evaluar, ya que se requiere conocer la criticidad que estos equipos según el impacto que tiene cada fallo dentro de su contexto operacional. Entonces, para la determinación de los criterios de criticidad para el mantenimiento civil, ha sido necesario recurrir a la opinión de especialistas dentro del diseño y construcción de edificios. Según los especialistas, la función que se verá afectada es el confort del edificio y su imagen dentro de la institución; estos y otros aspectos han sido considerados en los criterios que se muestran en la **Tabla 29-3**.

**Tabla 29-3:** Matriz de criticidad para infraestructura civil

CRITICIDAD	Medio ambiente.	Seguridad.	Calidad.	Tiempo de trabajo.	Impacto operacional.	Fiabilidad.	Mantenibilidad.
	E	S	Q	W	O	F	M
<b>A) CRITICO</b>	Si un fallo del mismo puede provocar que la institución tenga que recurrir a dar aviso a las autoridades por problemas que pudiesen afectar a la salud de las personas y el medio ambiente.	Serán aquellos cuyos fallos puedan producir accidentes que provocan absentismo laboral temporal o permanente en el lugar de trabajo.	Serán aquellos cuyos fallos pueden producir un impacto externo a la ciudadanía.	Corresponderá a esta categoría las áreas arquitectónicas utilizadas en jornada matutina, vespertina y fines de semana.	Cuando un fallo provoca el cierre del área y el desalojo de más de 40 usuarios	Los activos con frecuencia de fallo menor a 5 horas	Las áreas arquitectónicas que requieran un tiempo medio de reparación de más de 24 horas.
<b>B) IMPORTANTE</b>	Si un fallo del mismo provocase una contaminación o afección que pudiera gestionarse al interior de la institución.	Podría causar daños menores a las personas, no produce ausencia.	Serán aquellos cuyos fallos que produzcan una imagen negativa interna.	Las áreas arquitectónicas utilizadas en jornada matutina y vespertina	Cuando un fallo provoca el cierre del área y el desalojo entre 20 a 40 usuarios.	Los activos con frecuencia de fallo mayor de 5 horas y menor de 10 horas.	Las áreas arquitectónicas que requieran un tiempo medio de reparación entre 6 y 12 horas.
<b>C) PRESCINDIBLE</b>	Si un fallo del mismo no produjese ningún tipo de contaminación medio ambiental.	Son activos cuyos fallos no pueden crear consecuencias relacionadas con la seguridad de las personas.	Serán aquellos cuyos fallos que no ocasionan ningún impacto.	Las áreas arquitectónicas utilizadas en una jornada.	Cuando un fallo provoca el cierre del área y el desalojo de menos de 20 usuarios.	Los activos con frecuencia de fallo superiores a 10 horas.	Aquellas áreas arquitectónicas cuyo tiempo medio de reparación es inferior a 6 horas.

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

Una vez definidos los criterios, la determinación de la criticidad se la realiza aplicando el flujograma que se muestra en la **Figura 21-3** evaluando en primer lugar el criterio de medio ambiente.



**Figura 21-3:** Flujograma de evaluación de criticidad.

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

Donde:

E: Medio Ambiente.

S: Seguridad.

Q: Calidad.

W: Tiempo de trabajo.

O: Impacto operacional.

F: Fiabilidad.

M: Mantenibilidad.

La evaluación de la criticidad de la infraestructura civil se muestra en la Tabla 30-3.

**Tabla 30-3:** Evaluación de criticidad de los sistemas civiles.

ANÁLISIS DE CRITICIDAD		Medio ambiente			Seguridad			Calidad			Tiempo de trabajo			Impacto operacional			Fiabilidad			Mantenibilidad			CRITICIDAD
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C				
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
EDIFICIO M27: CARRERA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL																							
M-27-002	LABORATORIO DE TERMODINÁMICA APLICADA			X			X			X			X			X							PRESCINDIBLE
M-27-004	LABORATORIO DE MECATRÓNICA			X			X			X			X			X							PRESCINDIBLE
M-27-006	SALÓN AZUL			X			X			X			X			X			X				PRESCINDIBLE
M-27-008	S.S.H.H. 1			X			X			X			X			X							PRESCINDIBLE
M-27-010	S.S.H.H. 2			X			X			X			X			X							PRESCINDIBLE
M-27-012	LABORATORIO DE ELECTRICIDAD I			X			X			X			X			X							PRESCINDIBLE
M-27-014	OFICINA 014 DEL LABORATORIO DE ELECTRICIDAD I			X			X			X			X			X							PRESCINDIBLE
M-27-016	S.S.H.H. LABORATORIO DE ELECTRICIDAD I			X			X			X			X			X							PRESCINDIBLE
M-27-018	HALL PLANTA BAJA			X			X			X			X			X			X				PRESCINDIBLE
M-27-102	LABORATORIO DE ELECTRÓNICA			X			X			X			X			X							PRESCINDIBLE
M-27-104	LABORATORIO DE ELECTRICIDAD II Y MÁQUINAS ELÉCTRICAS			X			X			X			X			X							PRESCINDIBLE
M-27-106	OFICINA DE CONSERJE			X			X			X			X			X							PRESCINDIBLE
M-27-108	OFICINA 108 DE DOCENTES			X			X			X			X			X							PRESCINDIBLE
M-27-110	LABORATORIO DE CÓMPUTO			X			X			X			X			X			X				PRESCINDIBLE
M-27-112	DIRECCIÓN DE LA CARRERA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			X			X			X			X			X							PRESCINDIBLE

**Tabla 30-3 (Continuación):** Evaluación de criticidad de los sistemas civiles.

M-27-114	SALA DE REUNIONES			X		X		X	X			X								PRESCINDIBLE
M-27-116	SECRETARÍA Y ARCHIVO			X		X		X	X			X								PRESCINDIBLE
M-27-118	HALL DE SECRETARÍA			X		X	X		X			X					X			PRESCINDIBLE
M-27-120	HALL PLANTA ALTA			X		X	X		X			X					X			PRESCINDIBLE
M-27-910	GRADAS DE LA PRIMERA PLANTA			X		X		X			X									PRESCINDIBLE
EDIFICIO M19: ASOCIACIÓN DE ESTUDIANTES CARRERA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL																				
M-19-002	SALA DE JUEGOS Y ENTRETENIMIENTO			X		X		X	X			X					X			PRESCINDIBLE
M-19-004	OFICINA DE ASOCIACIÓN DE ESTUDIANTES CARRERA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL			X		X		X			X						X			PRESCINDIBLE
EDIFICIO M17: TALLER DE REPARACIONES DE LA FACULTAD DE MECÁNICA																				
M-17-002	TALLER DE REPARACIONES DE LA FACULTAD DE MECÁNICA			X		X		X	X			X								PRESCINDIBLE
EDIFICIO M32: TALLER DE FUNDICIÓN																				
M-32-002	S.S.H.H. HOMBRES			X		X		X			X						X			PRESCINDIBLE
M-32-004	S.S.H.H. MUJERES			X		X		X			X						X			PRESCINDIBLE
M-32-006	DUCHA			X		X		X			X						X			PRESCINDIBLE
M-32-008	ÁREA DE PRÁCTICAS DEL TALLER DE FUNDICIÓN			X		X	X		X			X					X			PRESCINDIBLE
M-32-010	LABORATORIO DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS			X		X		X	X			X								PRESCINDIBLE
M-32-012	LABORATORIO DE ARENAS			X		X		X	X			X								PRESCINDIBLE
M-32-014	MEZANINE 1 DEPÓSITO DE COMBUSTIBLE			X	X			X	X			X								PRESCINDIBLE
M-32-016	MEZANINE 2 HORNO DE FUNDICIÓN			X	X			X	X			X								PRESCINDIBLE
M-32-018	HALL DE INGRESO			X		X		X	X			X								PRESCINDIBLE
M-32-102	AULA 102			X		X		X			X						X			PRESCINDIBLE
M-32-104	AULA 104			X		X		X			X						X			PRESCINDIBLE
M-32-106	AULA 106			X		X		X			X						X			PRESCINDIBLE
M-32-910	GRADAS DE LA PRIMERA PLANTA			X		X		X			X						X			PRESCINDIBLE
EDIFICIO M49: BIBLIOTECA FACULTAD DE MECÁNICA																				
M-49-002	SALA DE CÓMPUTO			X		X		X			X						X			PRESCINDIBLE
M-49-004	DEPÓSITO DE MATERIAL BIBLIOGRÁFICO			X		X		X	X			X					X			PRESCINDIBLE

**Tabla 30-3 (Continuación):** Evaluación de criticidad de los sistemas civiles.

M-49-006	UNIDAD DOCUMENTAL DE TESIS DE GRADO			X		X		X	X			X							PRESCINDIBLE
M-49-008	CAFETERÍA			X		X		X		X		X							PRESCINDIBLE
M-49-010	SALA DE ESTUDIOS INDIVIDUAL			X		X		X		X		X							PRESCINDIBLE
M-49-012	BODEGA 1			X		X		X	X			X							PRESCINDIBLE
M-49-014	S.S.H.H.			X		X		X	X			X							PRESCINDIBLE
M-49-016	SALA DE LECTURA DE USUARIOS			X		X		X	X		X				X				PRESCINDIBLE
M-49-018	BODEGA 2			X		X		X		X		X							PRESCINDIBLE
M-49-020	LABORATORIO DE TINTAS PENETRANTES			X		X		X	X			X							PRESCINDIBLE
EDIFICIO M50: BLOQUE DE AULAS DE LA FACULTAD DE MECÁNICA																			
M-50-002	AULA 02			X		X		X	X			X			X				PRESCINDIBLE
M-50-004	AULA 04			X		X		X	X			X			X				PRESCINDIBLE
M-50-006	OFICINA 06 DE DOCENTES			X		X		X	X			X							PRESCINDIBLE
M-50-008	AULA 08			X		X		X	X			X			X				PRESCINDIBLE
M-50-010	AULA 10			X		X		X	X			X			X				PRESCINDIBLE
M-50-012	HALL DE INGRESO			X		X		X	X			X			X				PRESCINDIBLE
EDIFICIO M51: LABORATORIOS DE LA FACULTAD DE MECÁNICA																			
M-51-002	LABORATORIO DE GENERACIÓN DE VAPOR			X		X		X	X			X							PRESCINDIBLE
M-51-930	CISTERNA DEL LABORATORIO DE GENERACIÓN DE VAPOR			X		X		X		X		X							PRESCINDIBLE

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

Mediante el uso del flujograma de evaluación de la **Figura 21-3** se ha determinado que todos los sistemas civiles analizados recaen en la categoría de prescindible.

3.2.2.2 *Evaluación de la criticidad de los equipos de talleres y laboratorios.* Para la determinación de los criterios de criticidad de los equipos de laboratorio ha sido necesario recurrir a la opinión de los encargados cada laboratorio, y de acuerdo con el contexto en el cual se desarrollan estos equipos ya que no será el mismo que el de un equipo en el área productiva en la industria. En la Tabla 31-3 se muestran los criterios de criticidad a evaluar.

**Tabla 31-3:** Matriz de criticidad de equipos de talleres y laboratorios

<b>CRITICIDAD</b>	<b>SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE</b>	<b>IMPACTO OPERACIONAL</b>	<b>CALIDAD DEL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE</b>	<b>MANTENIMIENTO</b>
<b>A) CRITICO</b>	Puede originar un accidente muy grave	Su parada afecta en la planificación de ejecución de prácticas de laboratorio	Es clave para la calidad del proceso enseñanza-aprendizaje	Alto costo de reparación en caso de avería
	Necesita revisiones periódicas frecuentes (de seguridad)			Averías muy frecuentes
	Ha producido accidentes en el pasado			Consumo de una parte importante de los recursos de mantenimiento (mano de obra o materiales)
<b>B) IMPORTANTE</b>	Necesita revisiones periódicas anuales (de seguridad)	Afecta a la ejecución de prácticas pero es recuperable (no llega a afectar a los ocupantes o a la planificación de prácticas)	Afecta a la calidad del proceso enseñanza-aprendizaje, pero habitualmente no es problemático	Coste medio en mantenimiento
	Puede ocasionar un accidente grave, pero las posibilidades son remotas			
<b>C) PRESCINDIBLE</b>	Poca influencia en la seguridad y medio ambiente	Poca influencia en la ejecución de prácticas	No afecta a la calidad del proceso enseñanza-aprendizaje	Bajo costo de mantenimiento

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

Para la evaluación de la criticidad se procedió a realizar entrevistas a cada uno de los encargados de los laboratorios, donde basta que la evaluación determine que el equipo

recae en categoría A, B, o C en algún criterio para que éste equipo sea considerado como crítico, importante o prescindible respectivamente (ver **Tabla 32-3**).

**Tabla 32-3:** Evaluación de criticidad de equipos de laboratorio

<b>ANÁLISIS DE CRITICIDAD</b>		<b>Seguridad y medio ambiente (S)</b>			<b>Impacto operacional (O)</b>			<b>Calidad del proceso enseñanza-aprendizaje (Q)</b>			<b>Mantenimiento (M)</b>			<b>CRITICIDAD</b>
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	
<b>M-L005: Laboratorio de Termodinámica Aplicada</b>														
M-L005-001-M-IC01	Intercambiador de calor de flujo cruzado			X			X			X			X	Prescindible
M-L005-001-M-VV01	Ventilador centrífugo del banco de pruebas de intercambiador de calor de flujo cruzado			X			X			X			X	Prescindible
M-L005-002-M-DP01	Recipiente del intercambiador de calor de camisa y serpentín			X			X			X			X	Prescindible
M-L005-002-M-SR01	Serpentín interno del intercambiador de calor de camisa y serpentín			X			X			X			X	Prescindible
M-L005-002-M-AG01	Agitador del intercambiador de calor de camisa y serpentín			X			X		X				X	Importante
M-L005-002-M-EQ01	Tuberías y accesorios del intercambiador de calor de camisa y serpentín			X			X			X			X	Prescindible
M-L005-002-E-ME01	Motor agitador del intercambiador de calor de camisa y serpentín			X			X		X				X	Importante
M-L005-003-P-MP01	Banco termodinámico para la determinación de la constante R			X			X			X			X	Prescindible
M-L005-004-P-MP01	Generador de hielo tubular			X			X			X			X	Prescindible
M-L005-005-M-CL01	Caldero del sistema de generación de vapor	X			X			X				X		Crítico
M-L005-005-E-TE01	Tablero de control del sistema de generación de vapor			X		X			X				X	Importante
M-L005-005-I-CT01	Control de nivel de agua del sistema de generación de vapor	X				X				X			X	Importante
M-L005-005-M-EQ01	Tuberías y accesorios del sistema de generación de vapor			X			X			X			X	Prescindible
M-L005-005-I-CT01	Control de presión del sistema de generación de vapor	X				X				X			X	Importante
M-L005-005-M-BB01	Bomba de agua del sistema de generación de vapor			X	X					X			X	Crítico

**Tabla 32-3 (Continuación): Evaluación de criticidad de equipos de laboratorio**

M-L005-005-S-VS01	Válvula de seguridad del sistema de generación de vapor	X				X			X			X	Importante
M-L005-005-M-QM01	Quemador del sistema de generación de vapor	X		X				X				X	Crítico
M-L005-006-M-IC01	Intercambiador de calor de carcasa y tubos	X			X			X				X	Importante
M-L005-007-M-IC01	Intercambiador de calor de doble tubo	X			X			X				X	Importante
M-L005-007-M-EQ01	Tuberías y accesorios del intercambiador de calor de doble tubo		X			X			X			X	Prescindible
M-L005-008-M-EQ01	Tuberías y accesorios del intercambiador de calor de placas		X			X			X			X	Prescindible
M-L005-008-M-IC01	Placa de transferencia de calor del intercambiador de calor de placas		X			X			X			X	Prescindible
M-L005-009-M-IC01	Intercambiador de calor Baudelot		X			X			X			X	Prescindible
M-L005-010-P-MP01	Banco de refrigeración		X			X			X			X	Prescindible
<b>M-L010: Laboratorio de Mecatrónica</b>													
M-L010-001-M-CP01	Compresor de aire marca Campbell Hausfeld del sistema de aire comprimido	X		X			X					X	Crítico
M-L010-001-M-DP01	Tanque vertical de 32 HP/135 PSI de 60 gal del sistema de aire comprimido		X		X			X				X	Importante
M-L010-001-E-ME01	Motor Emerson 3500 RPM de 220 V del sistema de aire comprimido		X		X			X				X	Importante
M-L010-001-M-EQ01	Tuberías y accesorios del sistema de aire comprimido		X			X			X			X	Prescindible
M-L010-002-E-BR01	Brazo robótico		X			X			X	X			Crítico
M-L010-002-M-CP01	Compresor de aire marca Poppers del brazo robótico		X			X			X			X	Prescindible
M-L010-002-E-TC01	Tablero de control del brazo robótico		X			X			X			X	Prescindible
M-L010-002-E-TE01	Tablero de control del módulo de tesis		X			X			X			X	Prescindible
M-L010-002-T-MT01	Módulos de simulación de procesos		X			X			X			X	Prescindible
M-L010-003-T-MT01	Banco de pruebas del Laboratorio de Mecatrónica		X			X			X			X	Prescindible
M-L010-003-T-MT02	Equipo de manipulación flexible e 3 ejes del banco de pruebas del Laboratorio de Mecatrónica		X			X			X			X	Prescindible
M-L010-003-T-MT03	Sistema mecatrónico módulos de almacén automático del banco de pruebas del Laboratorio de Mecatrónica		X			X			X			X	Prescindible
M-L010-004-T-MT01	Módulo de simulación neumático 1		X			X			X			X	Prescindible
M-L010-004-T-MT02	Módulo de simulación neumático 2		X			X			X			X	Prescindible

**Tabla 32-3 (Continuación): Evaluación de criticidad de equipos de laboratorio**

M-L010-004-T-MT03	Módulo de simulación neumático 3			X			X			X			X	Prescindible
M-L010-001-M-ST01	Transmisión por banda del sistema de aire comprimido			X			X			X			X	Prescindible
<b>M-L015: Laboratorio de Electricidad I</b>														
M-L015-001-E-GP01	Grupo de pruebas para transformadores 1 del Laboratorio de Electricidad I			X			X			X			X	Prescindible
M-L015-001-E-GP02	Grupo de pruebas para transformadores 2 del Laboratorio de Electricidad I			X			X			X			X	Prescindible
M-L015-001-E-GP03	Grupo de pruebas para transformadores 3 del Laboratorio de Electricidad I			X			X			X			X	Prescindible
M-L015-001-E-GP04	Grupo de pruebas para transformadores 4 del Laboratorio de Electricidad I			X			X			X			X	Prescindible
M-L015-002-E-MA01	Módulo de alimentación 1 del Laboratorio de Electricidad I			X		X				X			X	Importante
M-L015-002-E-MA02	Módulo de alimentación 2 del Laboratorio de Electricidad I			X		X				X			X	Importante
M-L015-002-E-MA03	Módulo de alimentación 3 del Laboratorio de Electricidad I			X		X				X			X	Importante
M-L015-002-E-MA04	Módulo de alimentación 4 del Laboratorio de Electricidad I			X		X				X			X	Importante
M-L015-002-E-MA05	Módulo de alimentación 5 del Laboratorio de Electricidad I			X		X				X			X	Importante
<b>M-L020: Laboratorio de Electrónica</b>														
M-L020-001-E-MA01	Fuente de alimentación 1 del Laboratorio de Electrónica			X			X			X			X	Prescindible
M-L020-001-E-MA02	Fuente de alimentación 2 del Laboratorio de Electrónica			X			X			X			X	Prescindible
M-L020-001-E-MA03	Fuente de alimentación 3 del Laboratorio de Electrónica			X			X			X			X	Prescindible
M-L020-001-E-MA04	Fuente de alimentación 4 del Laboratorio de Electrónica			X			X			X			X	Prescindible
M-L020-001-E-MA05	Fuente de alimentación 5 del Laboratorio de Electrónica			X			X			X			X	Prescindible
M-L020-002-L-OS01	Osciloscopio 1 del Laboratorio de Electrónica			X		X				X			X	Importante
M-L020-002-L-OS02	Osciloscopio 2 del Laboratorio de Electrónica			X		X				X			X	Importante
M-L020-002-L-OS03	Osciloscopio 3 del Laboratorio de Electrónica			X		X				X			X	Importante
M-L020-002-L-OS04	Osciloscopio 4 del Laboratorio de Electrónica			X		X				X			X	Importante
M-L020-002-L-OS05	Osciloscopio 5 del Laboratorio de Electrónica			X		X				X			X	Importante

**Tabla 32-3 (Continuación): Evaluación de criticidad de equipos de laboratorio**

M-L020-002-L-OS06	Osciloscopio 6 del Laboratorio de Electrónica			X		X			X			X		Importante
M-L020-002-L-OS07	Osciloscopio 7 del Laboratorio de Electrónica			X		X			X			X		Importante
M-L020-002-L-OS08	Osciloscopio 8 del Laboratorio de Electrónica			X		X			X			X		Importante
<b>M-L025: Laboratorio de Electricidad II y Máquinas Eléctricas</b>														
M-L025-001-E-MA01	Fuente de alimentación fija y variable AC/CC monofásica y trifásica 1		X		X			X				X		Critico
M-L025-002-E-ME01	Motor universal 1		X			X			X			X		Importante
M-L025-002-E-ME05	Motor de inducción jaula de ardilla 1		X			X			X			X		Importante
M-L025-002-E-ME09	Motor con condensador de arranque 1		X			X			X			X		Importante
M-L025-002-E-ME13	Motor con condensador de marcha 1		X			X			X			X		Importante
M-L025-002-E-ME17	Motor/Generador sincrónico 1		X			X			X			X		Importante
M-L025-002-E-ME21	Motor de inducción trifásico de rotor bobinado 1		X			X			X			X		Importante
M-L025-002-E-ME25	Motor generador de corriente continua 1		X			X			X			X		Importante
M-L025-002-E-ME29	Motor de repulsión-inducción 1			X			X			X			X	Prescindible
M-L025-002-E-ME31	Electrodinamómetro			X			X			X			X	Prescindible
M-L025-002-E-ME35	Dinamómetro/Fuente de alimentación de 4 cuadrantes			X			X			X			X	Importante
M-L025-003-E-TR01	Transformador monofásico 1		X				X		X				X	Importante
M-L025-003-E-TR16	Transformador trifásico		X				X		X				X	Importante
M-L025-004-I-IN01	Voltímetro AC			X				X			X			Prescindible
M-L025-004-I-IN06	Amperímetro AC			X				X			X			Prescindible
M-L025-004-I-ME01	Vatímetro trifásico			X				X			X			Prescindible
M-L025-004-I-ME07	Vatímetro monofásico			X				X			X			Prescindible
M-L025-004-I-ME11	Voltímetro -Amperímetro de CC			X				X			X			Prescindible
M-L025-005-E-CR01	Cargas resistivas			X				X			X			Prescindible
M-L025-005-E-CR06	Cargas capacitivas			X				X			X			Prescindible
M-L025-005-E-CR12	Cargas inductivas			X				X			X			Prescindible
M-L025-006-E-MI06	Módulo de sincronización			X				X			X			Prescindible
M-L025-002-E-ME31	Control de velocidad con tiristor			X				X			X			Prescindible
M-L025-006-E-MI01	Arrancador para motor sincrónico			X				X			X			Prescindible
M-L025-006-E-MI10	Arrancador trifásico directo			X				X			X			Prescindible
M-L025-006-E-MI12	Arrancador para motor de CC			X				X			X			Prescindible
M-L025-006-E-MI14	Reóstato trifásico			X				X			X			Prescindible
<b>M-L030: Taller de Reparaciones</b>														
M-L030-001-M-CP01	Compresor de aire marca Campbell Hausfeld del sistema de aire comprimido			X				X			X			Prescindible

**Tabla 32-3 (Continuación): Evaluación de criticidad de equipos de laboratorio**

M-L030-001-M-DP01	Tanque vertical de 5 HP/ 175 PSI de 80 gal del sistema de aire comprimido			X			X			X		X	Prescindible
M-L030-001-E-ME01	Motor Emerson 3500 RPM de 220 V del sistema de aire comprimido			X			X			X		X	Prescindible
M-L030-001-M-EQ01	Tuberías y accesorios del sistema de aire comprimido			X			X			X		X	Prescindible
M-L030-002-M-TA01	Taladro de banco del Taller de Reparaciones			X			X			X		X	Prescindible
M-L030-002-M-EB01	Esmeril de banco marca DeWalt del Taller de Reparaciones			X			X			X		X	Prescindible
<b>M-L035: Taller de Fundición</b>													
M-L035-001-M-DR01	Durómetro para medir la dureza de la arena de 0 a 100 dimensional			X			X			X		X	Prescindible
M-L035-001-M-DR02	Durómetro con identador de diamante marca Skoda			X			X			X		X	Prescindible
M-L035-002-M-EC01	Puente grúa con tecla, capacidad de levantamiento, 2 toneladas	X					X		X			X	Importante
M-L035-003-M-MF01	Mufla cilíndrica			X			X			X		X	Prescindible
M-L035-004-M-MD01	Máquina para moldeo en cascara			X			X			X		X	Prescindible
M-L035-005-M-EB01	Esmeril de banco 1 potencia 1HP, 110 V			X			X			X		X	Prescindible
M-L035-006-M-HH01	Horno eléctrico a inducción tipo MF			X			X			X		X	Prescindible
M-L035-006-M-HH02	Horno cubilote de hierro/ con motor WEG			X			X			X		X	Prescindible
M-L035-007-M-DS01	Desmoldadora de arena capacidad 150 kg			X			X			X		X	Prescindible
<b>M-L040: Laboratorio de Tintas Penetrantes</b>													
M-L040-001-T-MT01	Planta de tratamientos superficiales del Laboratorio de Tintas Penetrantes			X			X			X		X	Prescindible
<b>M-L045: Laboratorio de Generación de Vapor</b>													
M-L045-001-M-DP01	Tanque presurizado del sistema de alimentación de agua			X			X			X		X	Prescindible
M-L045-001-E-ME01	Motor eléctrico de la bomba del sistema de alimentación de agua			X	X					X		X	Crítico
M-L045-001-I-CT01	Presóstato del sistema de alimentación de agua			X			X			X		X	Prescindible
M-L045-001-M-EQ01	Tubería y accesorios del sistema de alimentación de agua			X			X			X		X	Prescindible
M-L045-002-M-DP01	Tanque ablandador del sistema de ablandamiento de agua			X			X			X		X	Prescindible
M-L045-002-I-EC01	Cabezal del ablandador del sistema de ablandamiento de agua			X			X			X		X	Prescindible
M-L045-002-M-DP02	Tanque de salmuera del sistema de ablandamiento de agua			X			X			X		X	Prescindible

**Tabla 32-3 (Continuación):** Evaluación de criticidad de equipos de laboratorio

M-L045-002-M-EQ01	Tubería y accesorios del sistema de ablandamiento de agua			X			X			X		X	Prescindible
M-L045-003-M-DP01	Tanque de 55 gal del sistema de suministro de combustible	X				X			X			X	Importante
M-L045-003-M-EQ01	Tubería y accesorios del sistema de suministro de combustible			X		X			X			X	Prescindible
M-L045-004-S-VS01	Válvula de seguridad del sistema de distribución de vapor	X				X			X			X	Importante
M-L045-004-M-DV01	Distribuidor del sistema de distribución de vapor	X				X			X		X		Importante
M-L045-004-M-EQ01	Tubería y accesorios del sistema de distribución de vapor			X		X			X			X	Prescindible
M-L045-005-E-TC01	Panel de control principal del caldero de laboratorio de generación de vapor			X		X			X			X	Importante
M-L045-005-E-ME01	Motor marca Marathon Electric del ventilador de tiro forzado del caldero de laboratorio de generación de vapor			X		X			X			X	Importante
M-L045-005-I-EC01	Controlador de nivel de agua del caldero de laboratorio de generación de vapor	X				X			X		X		Importante
M-L045-005-I-EC01	Controles de presión de trabajo (presuretrol) del caldero de laboratorio de generación de vapor	X				X			X			X	Importante
M-L045-005-M-QM01	Quemador del caldero de laboratorio de generación de vapor	X		X					X			X	Crítico
M-L045-005-M-CL01	Caldero marca Cleaver Brooks del laboratorio de generación de vapor	X		X				X				X	Crítico
M-L045-005-E-TE01	Tablero de conexiones auxiliar del caldero de laboratorio de generación de vapor			X		X			X			X	Importante
M-L045-006-E-TE01	Tablero de control automático del caldero			X		X			X			X	Prescindible
M-L045-007-M-DP01	Tanque de condensado			X		X			X			X	Prescindible
M-L045-007-E-ME01	Motor eléctrico marca Lincoln Electric del sistema de condensado			X		X			X			X	Prescindible
M-L045-007-M-BB01	Bomba centrífuga del sistema de condensado			X		X			X			X	Prescindible
M-L045-007-M-EQ01	Tuberías y accesorios del sistema de condensado			X		X			X			X	Prescindible
M-L045-008-M-DP01	Tanque de almacenamiento del sistema de tratamiento químico			X		X			X			X	Prescindible
M-L045-008-M-BB01	Bomba mezcladora marca General Electric del sistema de tratamiento químico			X		X			X			X	Prescindible

**Tabla 32-3 (Continuación):** Evaluación de criticidad de equipos de laboratorio

M-L045-008-E-ME01	Motor eléctrico marca General Electric del sistema de tratamiento químico			X			X			X			X	Prescindible
M-L045-008-M-EQ01	Tuberías y accesorios del sistema de tratamiento químico			X			X			X			X	Prescindible

**Elaborado por:** Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

En la evaluación se ha determinado que existen equipos críticos, importantes y prescindibles en cada laboratorio y taller lo cual posteriormente ayudará en la selección del modelo de mantenimiento que se aplique en cada uno de ellos.

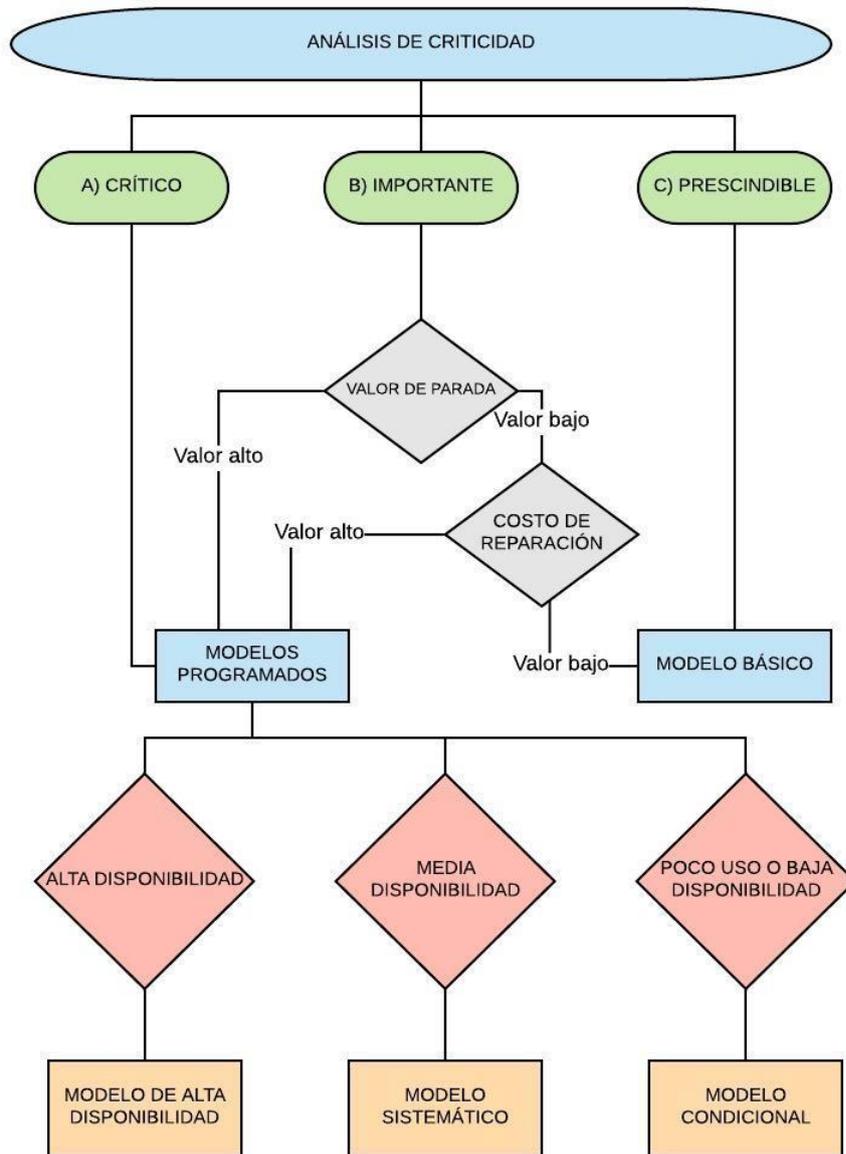
**3.2.3 Selección del modelo de mantenimiento.** Para la selección del modelo de mantenimiento se ha utilizado el flujograma que se muestra en la **Figura 22-3**. Este flujograma permite analizar cada uno de los sistemas y equipos que han sido clasificados previamente en el análisis de criticidad.

Además, considera el nivel de uso que se da a cada uno de ellos, siendo:

- Sistemas y equipos de alta disponibilidad: Aquellos utilizados en un tiempo mayor al 90%.
- Sistemas y equipos de media disponibilidad: Aquellos utilizados en un tiempo mayor al 40% y menor al 90%.
- Sistemas y equipos de poco uso o baja disponibilidad: Aquellos que se utilizan en un tiempo menor al 40%

Para los sistemas civiles, conociendo que son sistemas clasificados como prescindibles, el modelo de mantenimiento recae directamente en un modelo básico ya que no se estudia el nivel de disponibilidad que éstos representan (ver Tabla 33-3).

Para máquinas y equipos de los laboratorios y talleres, la selección del modelo de mantenimiento se muestra en la **Tabla 34-3**:



**Figura 22-3:** Flujograma para selección del modelo de mantenimiento

Fuente: (GARCÍA, 2003) pág.30

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

**Tabla 33-3:** Modelo de mantenimiento de los sistemas civiles

CRITICIDAD		DISPONIBILIDAD			MODELO DE MANTENIMIENTO
		ALTA > 90%	MEDIA $40% < X < 90%$	BAJA < 40%	
Sistemas civiles	Prescindible	-	-	-	Básico

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

**Tabla 34-3:** Selección del modelo de mantenimiento de equipos de laboratorio

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CRITICIDAD	DISPONIBILIDAD			MODELO DE MANTENIMIENTO
			Alta	Media	Baja	
Laboratorio de Termodinámica Aplicada						
M-L005-001-M-IC01	Intercambiador de calor de flujo cruzado	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L005-001-M-VV01	Ventilador centrífugo del banco de pruebas de intercambiador de calor de flujo cruzado	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L005-002-M-DP01	Recipiente del intercambiador de calor de camisa y serpentín	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L005-002-M-SR01	Serpentín interno del intercambiador de calor de camisa y serpentín	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L005-002-M-AG01	Agitador del intercambiador de calor de camisa y serpentín	Importante	Bajo valor de parada y costo de reparación			Básico
M-L005-002-M-EQ01	Tuberías y accesorios del intercambiador de calor de camisa y serpentín	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L005-002-E-ME01	Motor agitador del intercambiador de calor de camisa y serpentín	Importante	Bajo valor de parada y costo de reparación			Básico
M-L005-003-P-MP01	Banco termodinámico para la determinación de la constante R	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L005-004-P-MP01	Generador de hielo tubular	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L005-005-M-CL01	Caldero del sistema de generación de vapor	Crítico			X	Condicional
M-L005-005-E-TE01	Tablero de control del sistema de generación de vapor	Importante			X	Condicional
M-L005-005-I-CT01	Control de nivel de agua del sistema de generación de vapor	Importante			X	Condicional
M-L005-005-M-EQ01	Tuberías y accesorios del sistema de generación de vapor	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L005-005-I-CT01	Control de presión del sistema de generación de vapor	Importante	Bajo valor de parada y costo de reparación			Básico
M-L005-005-M-BB01	Bomba de agua del sistema de generación de vapor	Crítico			X	Condicional

**Tabla 34-3 (Continuación):** Selección del modelo de mantenimiento de equipos de laboratorio

M-L005-005-S-VS01	Válvula de seguridad del sistema de generación de vapor	Importante	Bajo valor de parada y costo de reparación			Básico
M-L005-005-M-QM01	Quemador del sistema de generación de vapor	Crítico			X	Condicional
M-L005-006-M-IC01	Intercambiador de calor de carcaza y tubos	Importante			X	Condicional
M-L005-007-M-IC01	Intercambiador de calor de doble tubo	Importante			X	Condicional
M-L005-007-M-EQ01	Tuberías y accesorios del intercambiador de calor de doble tubo	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L005-008-M-EQ01	Tuberías y accesorios del intercambiador de calor de placas	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L005-008-M-IC01	Placa de transferencia de calor del intercambiador de calor de placas	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L005-009-M-IC01	Intercambiador de calor Baudelot	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L005-010-P-MP01	Banco de refrigeración	Prescindible	-	-	-	Básico
Laboratorio de Mecatrónica						
M-L010-001-M-CP01	Compresor de aire marca Campbell Hausfeld del sistema de aire comprimido	Crítico			X	Condicional
M-L010-001-M-DP01	Tanque vertical de 32 HP/ 135 PSI de 60 gal del sistema de aire comprimido	Importante			X	Condicional
M-L010-001-E-ME01	Motor Emerson 3500 RPM de 220 V del sistema de aire comprimido	Importante			X	Condicional
M-L010-001-M-EQ01	Tuberías y accesorios del sistema de aire comprimido	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L010-002-E-BR01	Brazo robótico	Crítico			X	Condicional
M-L010-002-M-CP01	Compresor de aire marca Poppers del brazo robótico	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L010-002-E-TC01	Tablero de control del brazo robótico	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L010-002-E-TE01	Tablero de control del módulo de tesis	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L010-002-T-MT01	Módulos de simulación de procesos	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L010-003-T-MT01	Banco de pruebas del Laboratorio de Mecatrónica	Prescindible	-	-	-	Básico

**Tabla 34-3 (Continuación):** Selección del modelo de mantenimiento de equipos de laboratorio

M-L010-003-T-MT02	Equipo de manipulación flexible e 3 ejes del banco de pruebas del Laboratorio de Mecatrónica	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L010-003-T-MT03	Sistema mecatrónico módulos de almacén automático del banco de pruebas del Laboratorio de Mecatrónica	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L010-004-T-MT01	Módulo de simulación neumático 1	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L010-004-T-MT02	Módulo de simulación neumático 2	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L010-004-T-MT03	Módulo de simulación neumático 3	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L010-001-M-ST01	Transmisión por banda del sistema de aire comprimido	Prescindible	-	-	-	Básico
Laboratorio de Electricidad I						
M-L015-001-E-GP01	Grupo de pruebas para transformadores 1 del Laboratorio de Electricidad I	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L015-001-E-GP02	Grupo de pruebas para transformadores 2 del Laboratorio de Electricidad I	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L015-001-E-GP03	Grupo de pruebas para transformadores 3 del Laboratorio de Electricidad I	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L015-001-E-GP04	Grupo de pruebas para transformadores 4 del Laboratorio de Electricidad I	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L015-002-E-MA01	Módulo de alimentación 1 del Laboratorio de Electricidad I	Importante		X		Sistemático
M-L015-002-E-MA02	Módulo de alimentación 2 del Laboratorio de Electricidad I	Importante		X		Sistemático
M-L015-002-E-MA03	Módulo de alimentación 3 del Laboratorio de Electricidad I	Importante		X		Sistemático
M-L015-002-E-MA04	Módulo de alimentación 4 del Laboratorio de Electricidad I	Importante		X		Sistemático
M-L015-002-E-MA05	Módulo de alimentación 5 del Laboratorio de Electricidad I	Importante		X		Sistemático
Laboratorio de Electrónica						

**Tabla 34-3 (Continuación):** Selección del modelo de mantenimiento de equipos de laboratorio

M-L020-001-E-MA01	Fuente de alimentación 1 del Laboratorio Electrónica	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L020-001-E-MA02	Fuente de alimentación 2 del Laboratorio Electrónica	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L020-001-E-MA03	Fuente de alimentación 3 del Laboratorio Electrónica	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L020-001-E-MA04	Fuente de alimentación 4 del Laboratorio Electrónica	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L020-001-E-MA05	Fuente de alimentación 5 del Laboratorio Electrónica	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L020-002-L-OS01	Osciloscopio 1 del Laboratorio Electrónica	Importante			X	Condicional
M-L020-002-L-OS02	Osciloscopio 2 del Laboratorio Electrónica	Importante			X	Condicional
M-L020-002-L-OS03	Osciloscopio 3 del Laboratorio Electrónica	Importante			X	Condicional
M-L020-002-L-OS04	Osciloscopio 4 del Laboratorio Electrónica	Importante			X	Condicional
M-L020-002-L-OS05	Osciloscopio 5 del Laboratorio Electrónica	Importante			X	Condicional
M-L020-002-L-OS06	Osciloscopio 6 del Laboratorio Electrónica	Importante			X	Condicional
M-L020-002-L-OS07	Osciloscopio 7 del Laboratorio Electrónica	Importante			X	Condicional
M-L020-002-L-OS08	Osciloscopio 8 del Laboratorio Electrónica	Importante			X	Condicional
Laboratorio de Electricidad II y Máquinas Eléctricas						
M-L025-001-E-MA01	Fuente de alimentación fija y variable AC/CC monofásica y trifásica	Critico			X	Condicional
M-L025-002-E-ME01	Motor universal	Importante			X	Condicional
M-L025-002-E-ME05	Motor de inducción jaula de ardilla	Importante			X	Condicional
M-L025-002-E-ME09	Motor con condensador de arranque	Importante			X	Condicional
M-L025-002-E-ME13	Motor con condensador de marcha	Importante			X	Condicional
M-L025-002-E-ME17	Motor/Generador sincrónico	Importante			X	Condicional

**Tabla 34-3 (Continuación):** Selección del modelo de mantenimiento de equipos de laboratorio

M-L025-002-E-ME21	Motor de inducción trifásico de rotor bobinado	Importante			X	Condicional
M-L025-002-E-ME25	Motor generador de corriente continua	Importante			X	Condicional
M-L025-002-E-ME29	Motor de repulsión-inducción	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L025-002-E-ME31	Electrodinamómetro	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L025-002-E-ME35	Dinamómetro/Fuente de alimentación de 4 cuadrantes	Importante	Bajo valor de parada y costo de reparación			Básico
M-L025-003-E-TR01	Transformador monofásico	Importante	Bajo valor de parada y costo de reparación			Básico
M-L025-003-E-TR16	Transformador trifásico	Importante	Bajo valor de parada y costo de reparación			Básico
M-L025-004-I-IN01	Voltímetro AC	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L025-004-I-IN06	Amperímetro AC	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L025-004-I-ME01	Vatímetro trifásico	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L025-004-I-ME07	Vatímetro monofásico	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L025-004-I-ME11	Voltímetro Amperímetro de CC	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L025-005-E-CR01	Carga resistiva	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L025-005-E-CR06	Carga capacitiva	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L025-005-E-CR12	Carga inductiva	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L025-006-E-MI06	Módulo de sincronización	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L025-002-E-ME31	Control de velocidad con tiristor	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L025-006-E-MI01	Arrancador para motor sincrónico	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L025-006-E-MI10	Arrancador trifásico directo	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L025-006-E-MI12	Arrancador para motor de CC	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L025-006-E-MI14	Reóstato trifásico	Prescindible	-	-	-	Básico
Taller de Reparaciones						
M-L030-001-M-CP01	Compresor de aire marca Campbell Hausfeld del sistema de aire comprimido	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L030-001-M-DP01	Tanque vertical de 5 HP/ 175 PSI de 80 gal del sistema de aire comprimido	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L030-001-E-ME01	Motor Emerson 3500 RPM de 220 V del sistema de aire comprimido	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L030-001-M-EQ01	Tuberías y accesorios del sistema de aire comprimido	Prescindible	-	-	-	Básico

**Tabla 34-3 (Continuación):** Selección del modelo de mantenimiento de equipos de laboratorio

M-L030-002-M-TA01	Taladro de banco del Taller de Reparaciones	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L030-002-M-EB01	Esmeril de banco marca DeWalt del Taller de Reparaciones	Prescindible	-	-	-	Básico
Taller de Fundición						
M-L035-001-M-DR01	Durómetro para medir la dureza de la arena de 0 a 100 dimensional	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L035-001-M-DR02	Durómetro con identador de diamante marca Skoda	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L035-002-M-EC01	Puente grúa con tecla, capacidad de levantamiento, 2 toneladas	Importante			X	Condicional
M-L035-003-M-MF01	Mufla cilíndrica	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L035-004-M-MD01	Máquina para moldeo en cascara	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L035-005-M-EB01	Esmeril de banco 1 potencia 1HP, 110 V	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L035-006-M-HH01	Horno eléctrico a inducción tipo MF	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L035-006-M-HH02	Horno cubilote de hierro/ con motor WEG	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L035-007-M-DS01	Desmoldadora de arena capacidad 150 kg	Prescindible	-	-	-	Básico
Laboratorio de Tintas Penetrantes						
M-L040-001-T-MT01	Planta de tratamientos superficiales del Laboratorio de Tintas Penetrantes	Prescindible	-	-	-	Básico
Laboratorio de Generación de Vapor						
M-L045-001-M-DP01	Tanque presurizado del sistema de alimentación de agua	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L045-001-E-ME01	Motor eléctrico de la bomba del sistema de alimentación de agua	Crítico			X	Condicional
M-L045-001-I-CT01	Presóstato del sistema de alimentación de agua	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L045-001-M-EQ01	Tubería y accesorios del sistema de alimentación de agua	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L045-002-M-DP01	Tanque ablandador del sistema de ablandamiento de agua	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L045-002-I-EC01	Cabezal del ablandador del sistema de ablandamiento de agua	Prescindible	-	-	-	Básico

**Tabla 34-3 (Continuación):** Selección del modelo de mantenimiento de equipos de laboratorio

M-L045-002-M-DP02	Tanque de salmuera del sistema de ablandamiento de agua	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L045-002-M-EQ01	Tubería y accesorios del sistema de ablandamiento de agua	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L045-003-M-DP01	Tanque de 55 gal del sistema de suministro de combustible	Importante			X	Condicional
M-L045-003-M-EQ01	Tubería y accesorios del sistema de suministro de combustible	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L045-004-S-VS01	Válvula de seguridad del sistema de distribución de vapor	Importante			X	Condicional
M-L045-004-M-DV01	Distribuidor del sistema de distribución de vapor	Importante			X	Condicional
M-L045-004-M-EQ01	Tubería y accesorios del sistema de distribución de vapor	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L045-005-E-TC01	Panel de control principal del caldero de laboratorio de generación de vapor	Importante			X	Condicional
M-L045-005-E-ME01	Motor marca Marathon Electric del ventilador de tiro forzado del caldero de laboratorio de generación de vapor	Importante			X	Condicional
M-L045-005-I-EC01	Controlador de nivel de agua del caldero de laboratorio de generación de vapor	Importante			X	Condicional
M-L045-005-I-EC01	Controles de presión de trabajo (presuretrol) del caldero de laboratorio de generación de vapor	Importante			X	Condicional
M-L045-005-M-QM01	Quemador del caldero de laboratorio de generación de vapor	Crítico			X	Condicional
M-L045-005-M-CL01	Caldero marca Cleaver Brooks del laboratorio de generación de vapor	Crítico			X	Condicional
M-L045-005-E-TE01	Tablero de conexiones auxiliar del caldero de laboratorio de generación de vapor	Importante			X	Condicional
M-L045-006-E-TE01	Tablero de control automático del caldero	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L045-007-M-DP01	Tanque de condensado	Prescindible	-	-	-	Básico

**Tabla 34-3 (Continuación):** Selección del modelo de mantenimiento de equipos de laboratorio

M-L045-007-E-ME01	Motor eléctrico marca Lincoln Electric del sistema de condensado	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L045-007-M-BB01	Bomba centrífuga del sistema de condensado	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L045-007-M-EQ01	Tuberías y accesorios del sistema de condensado	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L045-008-M-DP01	Tanque de almacenamiento del sistema de tratamiento químico	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L045-008-M-BB01	Bomba mezcladora marca General Electric del sistema de tratamiento químico	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L045-008-E-ME01	Motor eléctrico marca General Electric del sistema de tratamiento químico	Prescindible	-	-	-	Básico
M-L045-008-M-EQ01	Tuberías y accesorios del sistema de tratamiento químico	Prescindible	-	-	-	Básico

**Elaborado por:** Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

Varios equipos que en la evaluación de criticidad han sido clasificados como importantes, recaen en un modelo básico porque su valor de parada y su costo de reparación es considerado bajo, esto en comparación con el valor total estimado para cada laboratorio y taller.

**3.2.4 Análisis de fallos y modos de fallo.** Este análisis permitirá identificar los fallos y los eventos que provocan cada uno de ellos. Esto con el fin de posteriormente determinar las tareas de mantenimiento que reduzcan la probabilidad de ocurrencia de cada fallo.

En la Tabla 35-3 se detalla el análisis realizado para los equipos civiles, eléctricos y dispositivos de seguridad encontrados como parte de la infraestructura académica y de servicio en la Facultad de Mecánica.

El estudio está realizado para todos los equipos encontrados en las instalaciones, y por ser clasificados dentro de un modelo de mantenimiento básico, no se estudia la clasificación de los modos de fallo que se describe en la Figura 4-2.

**Tabla 35-3:** Análisis RCM abreviado de equipos civiles

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN DEL FALLO	TIPO DE FALLO	DESCRIPCIÓN DEL MODO DE FALLO
Laboratorios, oficinas, aulas, bodegas,	No presta condiciones de alojamiento y confort para estudiantes y equipos de laboratorio	Funcional	Piso y cielo raso deteriorado
			Rotura en ventanas y puertas
			Humedad y deterioro en paredes
Iluminación	No ilumina el área requerida	Funcional	Luminaria fundida
Interruptores	No permiten el paso de corriente	Funcional	Rotura del interruptor
			Contactos deteriorados
Tomacorrientes	No suministran corriente	Funcional	Pines de conexión deteriorados
			Tomacorriente quemado
Extintor	No extingue el fuego	Funcional	Pérdida de presión
			Gas caducado
Pulsador	No permite el paso de corriente	Funcional	Rotura del pulsador
			Contactos deteriorados
Lámpara de emergencia	No enciende ante señal de alerta	Funcional	Luminaria fundida
			Fusible de seguridad fundido
Ductos de ventilación	No ventila el área requerida	Funcional	Rejilla del ducto tapada
Sensor de humo	No detecta presencia de humo	Funcional	Sensor quemado
			No hay suministro de corriente
Sensor de movimiento	No detecta movimiento	Funcional	Sensor quemado
			No hay suministro de corriente
Centro de carga	No protege conexiones eléctricas del edificio	Funcional	Contactos flojos
			Sobrecalentamiento del breaker
Caja de accionamiento	No permite paso de energía eléctrica	Funcional	Contactos flojos
			Contactador magnético deteriorado
Tablero eléctrico	No permite paso de energía eléctrica	Funcional	Contactos flojos
S.S.H.H	No presta condiciones de servicios sanitarios	Funcional	Piso y cielo raso deteriorado
			Rotura en ventanas y puertas
			Rotura de inodoros y lavamanos
			Taponamiento de inodoros
			Humedad y deterioro en paredes
Fachada	No cumple con el nivel de estética requerido	Funcional	Pintura deteriorada
			Humedad y deterioro en paredes
Edificio	No presta condiciones de alojamiento y confort	Funcional	Pintura deteriorada
			Humedad y deterioro en paredes
Cubierta	No cubre el edificio	Funcional	Rotura de cielo raso
			Corrosión de base estructural

**Tabla 35-3 (Continuación):** Análisis RCM abreviado de equipos civiles

Canaletas agua	No conduce las aguas de lluvia hacia el sistema de alcantarillado	Funcional	Taponamiento de canaletas
Hall	No presta condiciones de alojamiento y confort	Funcional	Piso y cielo raso deteriorado
			Rotura en ventanas y puertas
			Humedad y deterioro en paredes
Cisterna	No almacena agua para el uso de instalaciones	Funcional	Fisuras en paredes
Mezanine	No soporta los equipos de taller y sus instalaciones	Funcional	Rotura de la estructura metálica
Ventiladores	No ventila el área requerida	Funcional	Atascamiento del ventilador
Gradas	No permite el acceso a una planta de nivel superior o inferior	Funcional	Humedad y deterioro en paredes y piso
Cámaras de vigilancia	La cámara no enciende	Funcional	Rotura del lente
			No hay suministro de corriente

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

Para la determinación de fallos y modos de fallo a los equipos civiles se ha considerado el contexto operacional en el cual se desarrollan, donde se toma en cuenta factores como la calidad de alojamiento, confort e imagen institucional.

El análisis realizado para los equipos de talleres y laboratorios se muestra en la Tabla 36-3, Tabla 37-3, Tabla 38-3, Tabla 39-3, Tabla 40-3, Tabla 41-3, Tabla 42-3, Tabla 43-3, Tabla 44-3, (ver análisis completo en el anexo G).

**Tabla 36-3:** Análisis RCM abreviado del laboratorio de Termodinámica Aplicada.

CÓDIGO DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	ESTADO DEL EQUIPO (F-Funcional N- no funcional)	DESCRIPCIÓN DE FALLO	TIPO DE FALLO	DESCRIPCIÓN DEL MODO DE FALLO	CLASIFICACIÓN DEL FALLO
M-L005-001-M-IC01	Intercambiador de calor de flujo cruzado	F	No calienta el aire que pasa por el conducto	Funcional	Fuga de vapor en los tubos de transferencia de calor	N/A
					Taponamiento de los tubos de transferencia de calor	N/A
M-L005-003-P-MP01	Banco termodinámico para la determinación de la constante R del Laboratorio de Termodinámica Aplicada	F	No permite la determinación experimental de la constante universal de los gases	Funcional	Bomba de vacío no arranca	N/A
					Arrancador quemado	N/A

**Tabla 36-3 (Continuación):** Análisis RCM abreviado del laboratorio de Termodinámica Aplicada.

M-L005-004-P-MP01	Generador de hielo tubular del Laboratorio de Termodinámica Aplicada	F	No genera hielo	Funcional	Taponamiento de cañerías de la unidad condensadora	N/A
					Taponamiento de la válvula de expansión termostática	N/A
					Válvula solenoide quemada	N/A
					Fugas de refrigerante	N/A
					Ejes de los ventiladores de la unidad condensadora atascados	N/A
M-L005-005-M-CL01	Caldero del sistema de generación de vapor	F	Abolladuras en la base	Técnico	Altas vibraciones	A amortiguar
			Baja temperatura de trabajo	Técnico	Ductos de transferencia de calor taponados	A amortiguar
			Fugas de vapor	Técnico	Rotura del empaque	A amortiguar
M-L005-005-I-CT01	Control de nivel de agua del sistema de generación de vapor	F	No controla el nivel de agua del caldero	Funcional	Taponamiento del controlador	A amortiguar
M-L005-005-M-QM01	Quemador del sistema de generación de vapor	F	Quemador no enciende	Funcional	Bomba de combustible taponada	A amortiguar
			No genera la chispa de ignición	Funcional	Desgaste de electrodos	A amortiguar
M-L005-006-M-IC01	Intercambiador de calor de carcaza y tubos	F	No hay transferencia de calor	Funcional	Taponamiento de ductos de transferencia de calor	A amortiguar
M-L005-007-M-IC01	Intercambiador de calor de doble tubo	F	No hay transferencia de calor	Funcional	Taponamiento de ductos de transferencia de calor	A amortiguar
M-L005-009-M-IC01	Intercambiador de calor Baudelot	F	No transfiere calor	Funcional	Taponamiento de cañerías de la unidad condensadora	N/A
					Taponamiento de la válvula de expansión termostática	N/A
					Válvula solenoide quemada	N/A
					Fugas de refrigerante	N/A
					Ejes de los ventiladores de la unidad condensadora atascados	N/A

**Tabla 36-3 (Continuación):** Análisis RCM abreviado del laboratorio de Termodinámica Aplicada.

M-L005-010-P-MP01	Banco de refrigeración	de	F	No refrigera (no transfiere calor)	Funcional	Taponamiento de cañerías de la unidad condensadora	N/A
						Taponamiento de la válvula de expansión termostática	N/A
						Válvula solenoide quemada	N/A
						Fugas de refrigerante	N/A
						Ejes de los ventiladores de la unidad condensadora atascados	N/A

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

**Tabla 37-3:** Análisis RCM abreviado del laboratorio de Mecatrónica.

CÓDIGO DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	ESTADO DEL EQUIPO (F-Funcional N- no funcional)	DESCRIPCIÓN DE FALLO	TIPO DE FALLO	DESCRIPCIÓN DEL MODO DE FALLO	CLASIFICACIÓN DEL FALLO
M-L010-001-M-ST01	Transmisión por banda del sistema de aire comprimido	F	No transmite movimiento	Funcional	Rotura de la banda de transmisión	N/A
M-L010-001-M-CP01	Compresor de aire marca Campbell Hausfeld del sistema de aire comprimido	F	Aire comprimido con partículas de aceite	Técnico	Filtro de aceite sucio	A amortiguar
M-L010-001-M-DP01	Tanque vertical de 32 HP/ 135 PSI de 60 gal del sistema de aire comprimido	F	Presión de trabajo inadecuada	Técnico	Rotura de empaque	A amortiguar
			Aire comprimido con partículas de agua	Técnico	Exceso de condensado en el tanque de almacenamiento de aire	A amortiguar
M-L010-002-E-BR01	Brazo robótico	F	Movimientos del motor rígidos	Técnico	Rozamiento excesivo de partes móviles	A amortiguar
			El brazo robótico no enciende	Funcional	Conexiones en mal estado	A amortiguar

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

**Tabla 38-3:** Análisis RCM abreviado del laboratorio de Electricidad I.

CÓDIGO DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	ESTADO DEL EQUIPO (F-Funcional N- no funcional)	DESCRIPCIÓN DE FALLO	TIPO DE FALLO	DESCRIPCIÓN DEL MODO DE FALLO	CLASIFICACIÓN DEL FALLO
M-L015-001-E-GP	Grupos de pruebas para transformadores del Laboratorio de Electricidad I	F	El grupo de pruebas no enciende	Funcional	Fusibles quemados	N/A
M-L015-002-E-MA	Módulos de alimentación del Laboratorio de Electricidad I	F	No suministra corriente	Funcional	Fusibles quemados	A evitar
					Puente rectificador recalentado	A evitar
			Aumento de temperatura	Técnico	Terminales flojos	A amortiguar

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

**Tabla 39-3:** Análisis RCM abreviado del laboratorio de Electrónica.

CÓDIGO DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	ESTADO DEL EQUIPO (F-Funcional N- no funcional)	DESCRIPCIÓN DE FALLO	TIPO DE FALLO	DESCRIPCIÓN DEL MODO DE FALLO	CLASIFICACIÓN DEL FALLO
M-L020-001-E-MA01	Fuente de alimentación 1 del Laboratorio de Electrónica	F	No suministra corriente	Funcional	Fusibles quemados	N/A
M-L020-002-L-OS01	Osciloscopio 1 del Laboratorio de Electrónica	F	El equipo no enciende	Funcional	Cable de alimentación cortado	A amortiguar
					Rotura de switch de encendido	

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

**Tabla 40-3:** Análisis RCM abreviado del laboratorio de Electricidad II y Máquinas Eléctricas.

CÓDIGO DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	ESTADO DEL EQUIPO (F-Funcional N- no funcional)	DESCRIPCIÓN DE FALLO	TIPO DE FALLO	DESCRIPCIÓN DEL MODO DE FALLO	CLASIFICACIÓN DEL FALLO
M-L025-001-E-MA01	Fuente de alimentación fija y variable AC/CC monofásica y trifásica	F	No suministra corriente	Funcional	Fusibles quemados	A amortiguar
			Recalentamiento de la fuente	Técnico	Exceso de polvo en los devanados	A amortiguar
M-L025-002-E-ME05	Motor de inducción jaula de ardilla	F	Recalentamiento del motor	Técnico	Aumento de vibraciones	A amortiguar
			El motor no enciende	Funcional	Conexiones flojas	A amortiguar

**Tabla 40-3 (Continuación):** Análisis RCM abreviado del laboratorio de Electricidad II y Máquinas Eléctricas.

M-L025-002-E-ME35	Dinamómetro/Fuente de alimentación de 4 cuadrantes	F	El motor no gira	Funcional	Motor eléctrico quemado	N/A
-------------------	--	---	------------------	-----------	-------------------------	-----

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

**Tabla 41-3:** Análisis RCM abreviado del taller de Reparaciones.

CÓDIGO DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	ESTADO DEL EQUIPO (F-Funcional N- no funcional)	DESCRIPCIÓN DE FALLO	TIPO DE FALLO	DESCRIPCIÓN DEL MODO DE FALLO	CLASIFICACIÓN DEL FALLO
M-L030-001-M-CP01	Compresor de aire marca Campbell Hausfeld del sistema de aire comprimido	F	Emite aire comprimido con partículas de condensado	Técnico	Anegación de condensado en el tanque	N/A
M-L030-001-M-DP01	Tanque vertical de 5 HP/ 175 PSI de 80 gal del sistema de aire comprimido	F	No contiene aire comprimido	Funcional	Fugas de aire	N/A
M-L030-001-E-ME01	Motor Emerson 3500 RPM de 220 V del sistema de aire comprimido	F	El motor no enciende	Funcional	Motor eléctrico quemado	N/A
M-L030-001-M-EQ01	Tuberías y accesorios del sistema de aire comprimido	F	No transporta los fluidos	Funcional	Rotura de tuberías y accesorios	N/A
M-L030-002-M-TA01	Taladro de banco del Taller de Reparaciones	F	El motor no enciende	Funcional	Motor eléctrico quemado	N/A
M-L030-002-M-EB01	Esmeril de banco marca DeWalt del Taller de Reparaciones	F	El motor no enciende	Funcional	Motor eléctrico quemado	N/A

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

**Tabla 42-3:** Análisis RCM abreviado del taller de fundición.

CÓDIGO DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	ESTADO DEL EQUIPO (F-Funcional N- no funcional)	DESCRIPCIÓN DE FALLO	TIPO DE FALLO	DESCRIPCIÓN DEL MODO DE FALLO	CLASIFICACIÓN DEL FALLO
M-L035-001-M-DR01	Durómetro para medir la dureza de la arena de 0 a 100 dimensional, en estuche	N	No mide la dureza de la arena	Funcional	Atascamiento del mecanismo de avance	N/A

**Tabla 42-3 (Continuación):** Análisis RCM abreviado del taller de fundición.

M-L035-001-M-DR02	Durómetro con identador con diamante	F	No mide la dureza de la arena	Funcional	Atascamiento de la manivela de avance	N/A
M-L035-002-M-EC01	Puente grúa con tecla, capacidad de levantamiento, 2 toneladas	F	Partes móviles atascadas	Técnico	Rozamiento excesivo de partes móviles	A amortiguar
M-L035-003-M-MF01	Mufla cilíndrica	F	No calienta la cámara térmica	Funcional	Resistencia de calentamiento quemada	N/A
M-L035-004-M-MD01	Máquina para moldeo en cascara del taller de fundición	F	No calienta el material para moldear	Funcional	Resistencia de calentamiento quemada	N/A
M-L035-005-M-EB01	Esmeril de banco 1 potencia 1hp, 110 v del taller de fundición	F	No giran los discos de esmerilado	Funcional	Motor eléctrico quemado	N/A

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

**Tabla 43-3:** Análisis RCM abreviado del laboratorio de Tintas Penetrantes.

CÓDIGO DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	ESTADO DEL EQUIPO (F-Funcional N- no funcional)	DESCRIPCIÓN DE FALLO	TIPO DE FALLO	DESCRIPCIÓN DEL MODO DE FALLO	CLASIFICACIÓN DEL FALLO
M-L040-001-T-MT01	Planta de tratamientos superficiales del Laboratorio de Tintas Penetrantes	F	No se puede ejecutar prácticas de laboratorio	Funcional	Cámara de tratamiento obstruida	N/A

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

**Tabla 44-3:** Análisis RCM abreviado del laboratorio de Generación de Vapor.

CÓDIGO DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	ESTADO DEL EQUIPO (F-Funcional N- no funcional)	DESCRIPCIÓN DE FALLO	TIPO DE FALLO	DESCRIPCIÓN DEL MODO DE FALLO	CLASIFICACIÓN DEL FALLO
M-L045-001-M-DP01	Tanque presurizado del sistema de alimentación de agua	F	No presuriza el agua de alimentación al caldero	Funcional	Fugas de agua	N/A
M-L045-001-E-ME01	Motor eléctrico de la bomba del sistema de alimentación de agua	F	Recalentamiento del motor	Técnico	Aumento de vibraciones	A amortiguar

**Tabla 44-3 (Continuación):** Análisis RCM abreviado del laboratorio de Generación de Vapor.

M-L045-002-I-EC01	Cabezal del ablandador del sistema de ablandamiento de agua	F	No controla el sistema de ablandamiento	Funcional	Placa principal quemada	N/A
M-L045-003-M-DP01	Tanque de 55 gal del sistema de suministro de combustible	F	No contiene el combustible	Funcional	Fugas de combustible	N/A
M-L045-004-S-VS01	Válvula de seguridad del sistema de distribución de vapor	F	No alivia la sobrepresión del sistema	Funcional	Corrosión de los elementos internos	N/A
M-L045-005-I-EC01	Controlador de nivel de agua del caldero de laboratorio de generación de vapor	F	No controla el nivel de agua del caldero	Funcional	Taponamiento del controlador	A amortiguar
M-L045-005-M-QM01	Quemador del caldero de laboratorio de generación de vapor	F	El quemador no enciende	Funcional	Desgaste de electrodos	A amortiguar
					Taponamiento de la boquilla de combustible	A amortiguar
					Sensor quemado	A amortiguar
M-L045-005-M-CL01	Caldero marca Cleaver Brooks del laboratorio de generación de vapor	F	Abolladuras en la base	Técnico	Altas vibraciones	A amortiguar
			Baja temperatura de trabajo	Técnico	Ductos de transferencia de calor taponados	A amortiguar
			Fugas de vapor	Técnico	Rotura del empaque	A amortiguar
M-L045-006-E-TE01	Tablero de control automático del caldero	F	No permite el control automático del caldero	Funcional	Conexiones eléctricas flojas	N/A
M-L045-007-E-ME01	Motor eléctrico marca Lincoln Electric del sistema de condensado	F	No enciende	Funcional	Motor eléctrico quemado	N/A
M-L045-007-M-BB01	Bomba centrífuga del sistema de condensado	F	No bombea condensado	Funcional	Rotura del acoplamiento	N/A
					Impulsor deteriorado	N/A
M-L045-007-M-EQ01	Tuberías y accesorios del sistema de condensado	F	No transporta los fluidos	Funcional	Rotura de tuberías y accesorios	N/A
M-L045-008-E-ME01	Motor eléctrico marca General Electric del sistema de tratamiento químico	F	No enciende	Funcional	Motor eléctrico quemado	N/A

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

El estudio realizado en los equipos de cada taller y laboratorio ha sido realizado en base a información proporcionada por los técnicos docentes encargados, quienes están en contacto continuo con los equipos y por lo tanto pueden ayudar a determinar cada uno de los fallos y modos de fallo que se pueden presentar.

Los equipos cuyo modelo de mantenimiento recae en básico, no necesitan de una clasificación de sus fallos por lo que se ha utilizado las siglas N/A para ostentarlo.

### 3.3 Implementación del Sistema de Gestión de Mantenimiento Asistido por Computador (GMAO).

3.3.1 **Definición.** El sistema de mantenimiento asistido por computador es una herramienta informática que ayuda en la gestión de mantenimiento. Su base de datos contiene información sobre las operaciones de mantenimiento que maneja una empresa.

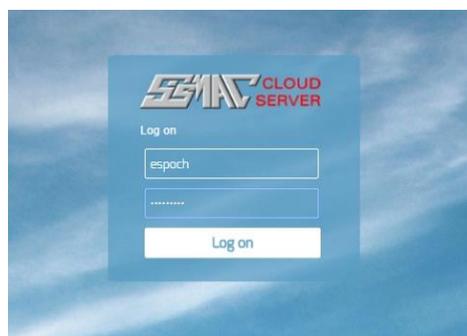
3.3.2 **Generalidades.** En la implementación de GMAO, en este proyecto técnico se lo realiza mediante un software de mantenimiento que se ha seleccionado por el convenio que existe entre la ESPOCH con la empresa C&V Ingeniería CIA.LTDA. donde se acordó la prestación de la licencia para su software SisMAC de forma gratuita para el uso de la institución para la sistematización en la gestión de mantenimiento.

3.3.3 **Descripción del software SisMAC.** El software esta creado en un ambiente gráfico, parametrizable, que permite al usuario un entorno amigable en su ejecución, en un entorno de continuo desarrollo de nuevas tecnologías.

3.3.4 **Implementación del software SisMAC.** Para ingresar el plan de mantenimiento se siguen los siguientes pasos:

3.3.4.1 **Ingreso al sistema.** Una de las prestaciones que tiene el sistema es que la información puede ser cargada a la web. Se puede ingresar por medio de la dirección electrónica <http://cloud.sismac.net/>.

Una vez ingresada la dirección se nos abrirá una pantalla con muestra la **Figura 23-3**:



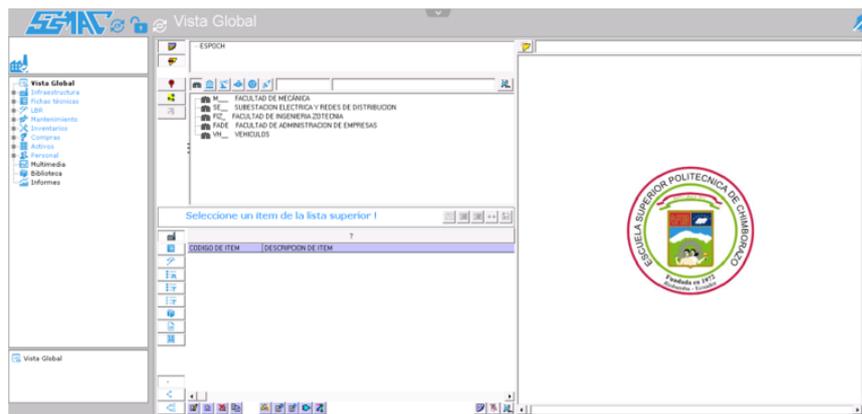
**Figura 23-3:** Ingreso al software SisMAC.  
Fuente: Software SisMAC

Luego se podrá ingresar a la página de inicio del software, donde tendrá que ser ingresado un usuario y contraseña (ver **Figura 24-3**).



**Figura 24-3:** Inicio de sesión en software SisMAC  
Fuente: Software SisMAC

Una vez ingresado, se puede observar la ventana principal del sistema donde se puede configurar lo necesario en la planificación del mantenimiento (ver **Figura 25-3**).



**Figura 25-3:** Vista global de SisMAC  
Fuente: Software SisMAC

La pestaña “vista global”, da una vista del menú principal que ofrece el sistema (ver **Figura 26-3**):

- Infraestructura
- Fichas técnicas
- Lista básica de repuestos
- Mantenimiento
- Inventarios
- Compras
- Activos

- Personal
- Multimedia
- Biblioteca
- Informes



**Figura 26-3:** Menú principal de SisMAC.  
Fuente: Software SisMAC

En la parte inferior izquierda, se encuentra una serie de íconos (ver **Figura 27-3**), cuya nominación se muestra a continuación:

- Ítems o inventario técnico.
- Fichas técnicas.
- Lista de base de recambio.
- Rutinas de mantenimiento asignadas.
- Tareas de mantenimiento asignadas.
- Tareas de mantenimiento ejecutadas.
- Documentación técnica.
- Referencias gráficas.
- Activos fijos.



**Figura 27-3:** Íconos principales de SisMAC.  
Fuente: Software SisMAC

En la parte inferior de la vista global del software se encontrarán íconos, que permiten realizar acciones de editar, nuevo, eliminar, copiar, referencias gráficas, mover, ubicar, suspender y referencias de ubicación (ver **Figura 28-3**).



**Figura 28-3:** Botones de configuración de SisMAC.  
Fuente: Software SisMAC

3.3.4.2 *Niveles jerárquicos.* SisMAC posee niveles jerárquicos para la configuración del inventario técnico que se va a cargar en el sistema (ver **Figura 29-3**).

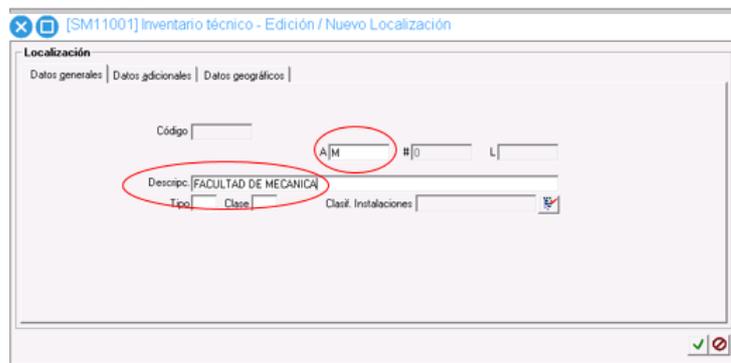
Dependiendo del nivel jerárquico, los ítems a ingresar tendrán su respectiva codificación que fue propuesta en el tercer capítulo.

NIVEL JERÁRQUICO	ÍCONO	NOMBRE
Primer nivel		Localización
Segundo nivel		Áreas
Tercer nivel		Máquina/ Sistema
Cuarto nivel		Equipos
Quinto nivel		Componentes

**Figura 29-3:** Niveles jerárquicos de SisMAC.  
Fuente: Software SisMAC  
Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

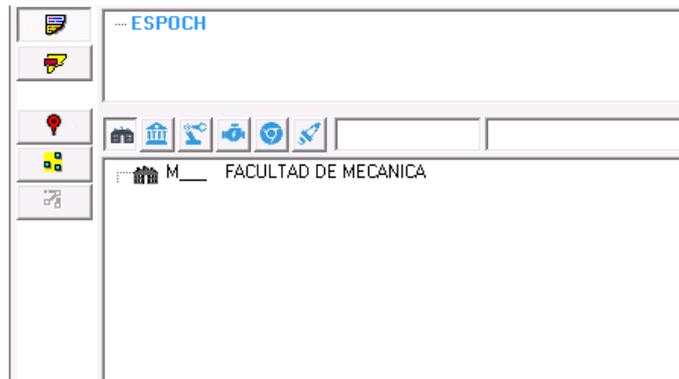
3.3.4.3 *Ingreso de inventario técnico.* Para el ingreso del inventario técnico, se debe ubicar en la vista global del programa y dependiendo del nivel jerárquico que se va a ingresar.

En la opción “nuevo” se abrirá una pestaña (ver **Figura 30-3**) en la que ingresa el código que se estableció para el primer nivel.



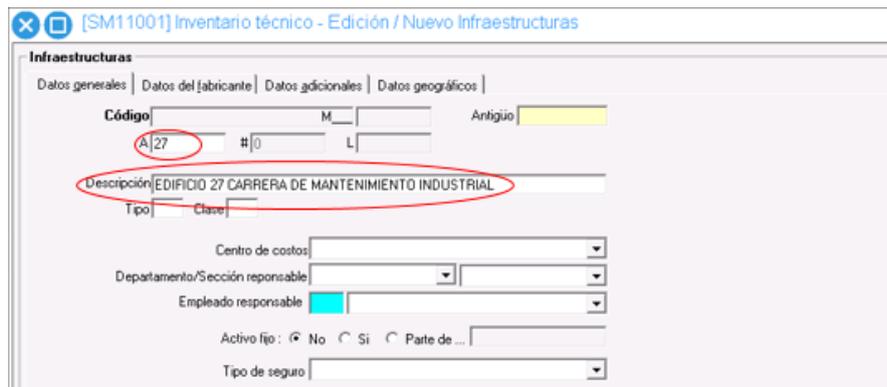
**Figura 30-3:** Ingreso de inventario jerárquico.  
Fuente: Software SisMAC

Luego se procede a colocar el código y la descripción del ítem para luego dar clic en el ícono aceptar y como resultado se tendrá el ítem creado en el primer nivel (ver **Figura 31-3**).



**Figura 31-3:** Ingreso de inventario de primer nivel jerárquico.  
Fuente: Software SisMAC

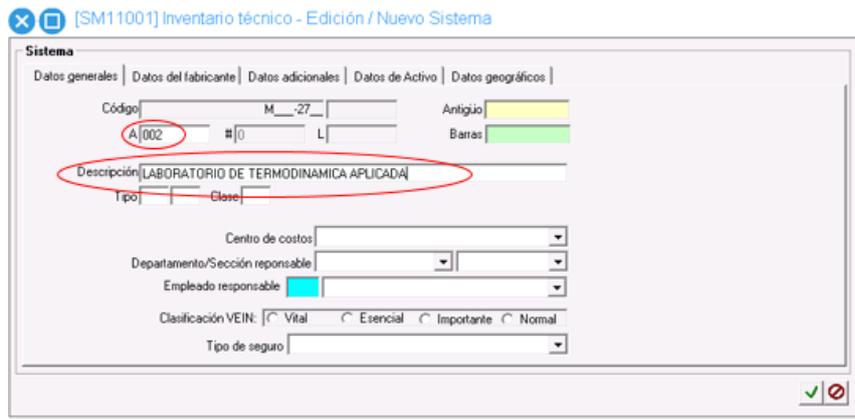
Para la ubicación del segundo nivel jerárquico se da doble clic sobre Facultad de Mecánica de la **Figura 31-3**. Para el ingreso de datos se realiza el mismo procedimiento del primer nivel, con la diferencia que la ubicación del código cambiará por la designada para el segundo nivel jerárquico (ver **Figura 32-3**)



**Figura 32-3:** Ingreso de inventario de segundo nivel jerárquico.  
Fuente: Software SisMAC

Una vez llenados los requerimientos de código y descripción del ítem, se acepta y se cierra la ventana. Este procedimiento se realizará para todos los ítems que se encuentren a nivel de infraestructura.

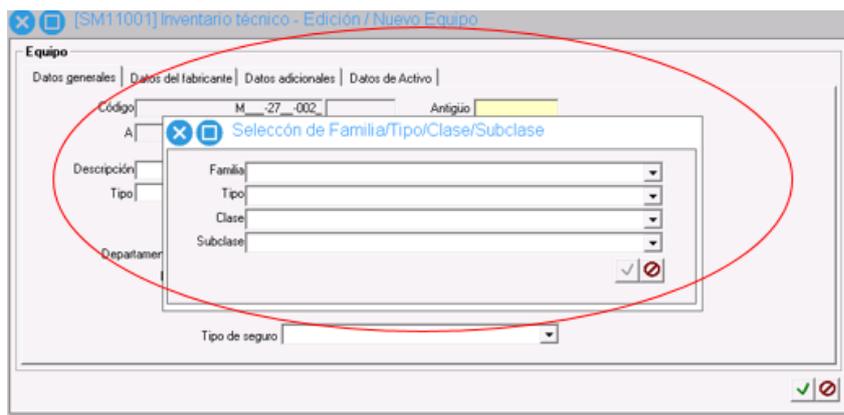
Para ingresar los datos a nivel de sistemas, es necesario ubicarse dentro del segundo nivel jerárquico que previamente fue cargado al sistema para luego dar clic en el ícono nuevo, donde se abrirá la ventana de la **Figura 33-3**.



**Figura 33-3:** Ingreso de inventario del tercer nivel jerárquico.  
Fuente: Software SisMAC

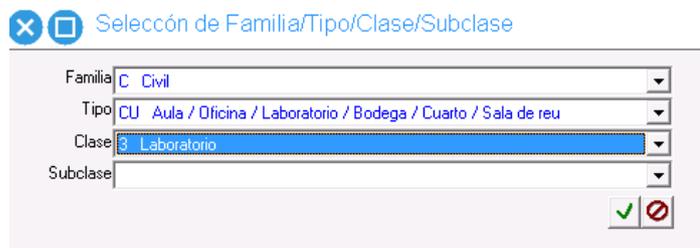
Luego se acepta los cambios realizados y se cierra la ventana. Este procedimiento se hará para ingresar todos los ítems del nivel de sistemas.

Para el ingreso de la información del nivel de equipos, ya ubicados dentro del sistema que se requiere ingresar los equipos se da clic en el ícono nuevo y de desplegará la ventana de la **Figura 34-3**.



**Figura 34-3:** Ingreso de inventario del cuarto nivel jerárquico.  
Fuente: Software SisMAC

Al ingresar se abrirá otra pestaña emergente donde se tendrá que ubicar al equipo según la familia la que corresponde, el tipo de equipo, clase y subclase (ver **Figura 35-3**).



**Figura 35-3:** Ventana emergente de ingreso de equipos.  
Fuente: Software SisMAC

Realizado este paso, se colocará la descripción del equipo el cual se está ingresando. El mismo procedimiento se seguirá para el ingreso de todos los equipos, según el sistema al que correspondan.

Para ingresar los datos del quinto nivel (nivel de componentes), se lo hará de misma forma que los ejemplos anteriores, el código del componente se colocará automáticamente por el software por lo que será necesario únicamente dar la descripción del componente a ingresar.

En la Figura 36-3 se muestra el resultado del ingreso del inventario al software.



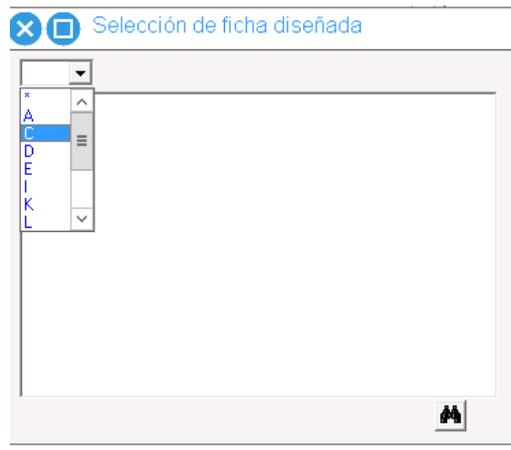
**Figura 36-3:** Inventario ingresado en SisMAC.

Fuente: Software SisMAC

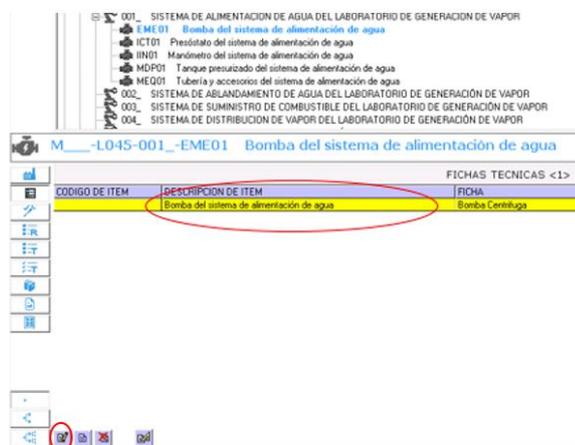
3.3.4.4 *Asignación de fichas técnicas.* Con la información del inventario técnico, se procede a establecer fichas técnicas a los equipos de los cuales se obtuvo la información necesaria. Varias fichas técnicas se encuentran ya cargadas en la base de datos del SisMAC, en caso de no tener una ficha correspondiente para un equipo que se requiera, se puede diseñarla con los parámetros que se consideren para determinada maquina o equipo.

La asignación de la ficha técnica se realiza dando clic en el botón “fichas técnicas”, se selecciona el equipo al cual se requiere anclar la ficha y se clic en nuevo. Se desplegará una ventana en la que se debe especificar la familia y el tipo de equipo para seleccionar la ficha técnica que corresponde (ver **Figura 37-3**).

Cuando la ficha ha sido asignada al equipo, esta debe ser editada para ser ingresada toda la información que se ha logrado determinar. Esto se logra seleccionando la ficha ingresada, y dando clic en el botón editar (ver **Figura 38-3**).



**Figura 37-3:** Selección de fichas técnicas en SisMAC.  
Fuente: Software SisMAC

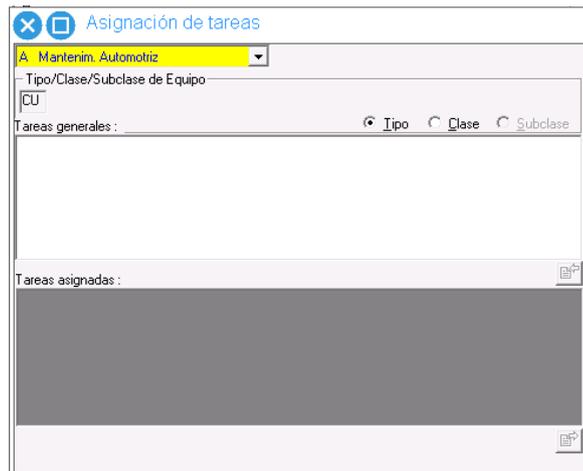


**Figura 38-3:** Editar ficha técnica.  
Fuente: Software SisMAC

Las fichas técnicas que han sido ingresadas al software tanto para los sistemas civiles como para los equipos de laboratorio se muestran en el anexo E y F respectivamente.

3.3.4.5 *Asignación de tareas de mantenimiento.* La asignación de tareas de mantenimiento para los equipos ingresados al sistema debe ser realizada ubicándose en el ícono de “tareas de mantenimiento asignadas” del sistema (ver **Figura 27-3**).

Seleccionado el equipo al cual se requiere asignar la tarea de mantenimiento se da clic en el botón nuevo donde se desplegará la ventana de la Figura 39-3.



**Figura 39-3:** Asignación de tareas de mantenimiento.  
Fuente: Software SisMAC

Luego, se selecciona el tipo de tarea de mantenimiento que se va a asignar. En la Tabla 45-3 se muestra los tipos de tarea existentes en la base de datos del software.

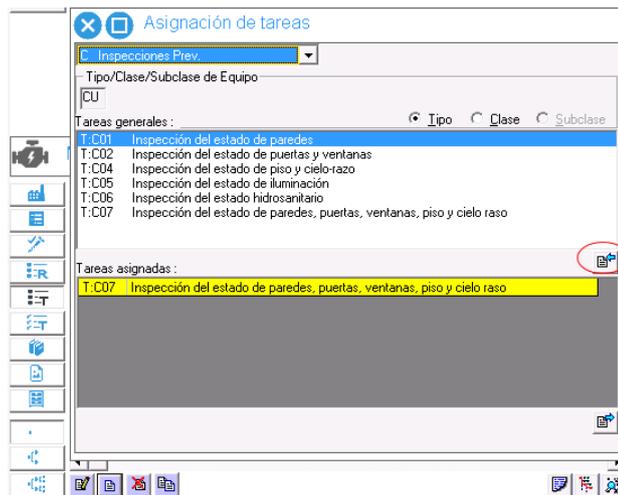
**Tabla 45-3:** Tipos de tareas de mantenimiento

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
A	Mantenimiento automotriz
B	Lubricación
C	Inspecciones preventivas
D	Inspecciones predictivas
E	Trabajos preventivos
F	Reemplazos
G	Reparaciones

Fuente: Software SisMAC

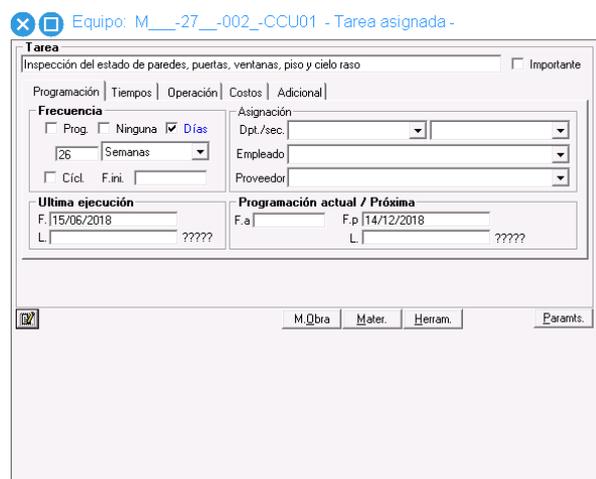
Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

Seleccionado el tipo de tarea, se desplegará el banco de tareas de mantenimiento existentes para el equipo. Se elige la tarea de mantenimiento y se da clic en el botón aceptar (ver Figura 40-3).



**Figura 40-3:** Selección de la tarea de mantenimiento.  
Fuente: Software SisMAC

Para programar la tarea de mantenimiento establecida, se da clic en el botón editar donde se desplegará la ventana. Aquí se podrá configurar parámetros como la frecuencia de ejecución, la última fecha de ejecución, la próxima fecha de ejecución y la logística que se requiere para la ejecución de la tarea. (ver Figura 41-3).



**Figura 41-3:** Configuración de las tareas de mantenimiento.  
Fuente: Software SisMAC

Una de las facilidades que presta el programa es que una vez asignada la frecuencia y la fecha de la última ejecución de mantenimiento, se puede calcular automáticamente la próxima fecha de ejecución de la tarea de mantenimiento, utilizando las teclas Ctrl + F2. Además, se puede asignar para cada tarea recursos que son necesarios para su ejecución, como: mano de obra, materiales y herramientas. Se debe realizar este mismo procedimiento para todas y cada una de las tareas de mantenimiento asignadas a los equipos.

### **3.4 Capacitación al personal técnico en el manejo adecuado del plan de mantenimiento.**

La capacitación se ha enfocado en el personal que será el encargado de manejar el plan de mantenimiento elaborado. La capacitación se ha realizado en dos grupos:

El primer grupo que se encargará del manejo del plan de mantenimiento, donde se tratarán los siguientes temas:

- Introducción e ingreso al sistema.
- Visualización de activos en la base de datos.
- Generación y recepción de solicitudes de trabajo.
- Generación de órdenes de trabajo preventiva.
- Generación de órdenes de trabajo correctivas.
- Generación de solicitud de materiales.

El segundo grupo, quienes serán responsables de notificar la existencia de fallos en las instalaciones de la institución, donde se tratarán los siguientes temas:

- Introducción e ingreso al sistema.
- Generación de solicitudes de trabajo.

La capacitación se ha realizado mediante tutorías asistidas y mediante el uso de un instrumento audiovisual.

El programa de capacitación que se elaboró se encuentra en el anexo I tanto para el personal del DMDF como para el personal técnico y administrativo de la Facultad de Mecánica.

## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS DEL PROYECTO TÉCNICO.

#### 4.1 Resultados de la evaluación de la gestión de mantenimiento.

4.1.1 *Evaluación de la gestión de mantenimiento de la ESPOCH.* La evaluación de la gestión de mantenimiento da sus resultados por medio de la aplicación de método AHP. En la **Tabla 1-4**, se muestra los valores obtenidos de la gestión de mantenimiento de la infraestructura civil, donde se puede verificar que en cada nivel de cumplimiento calificado (deficiente, poco satisfactorio, cuasi satisfactorio y satisfactorio) el DMDF ha alcanzado la puntuación correspondiente.

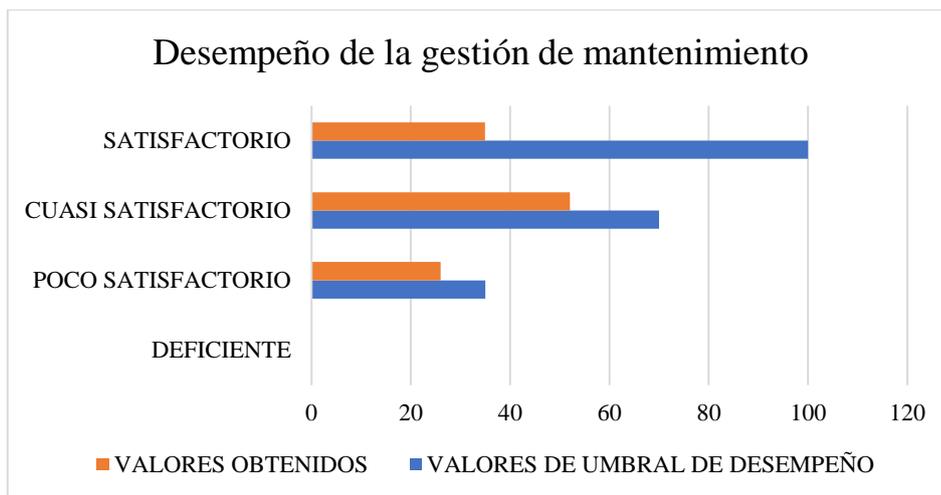
**Tabla 1-4:** Valores de desempeño de la gestión de mantenimiento en la ESPOCH.

CUMPLIMIENTO	TABLA DE COMPARACION	
	VALORES DE UMBRAL DE DESEMPEÑO	VALORES OBTENIDOS
DEFICIENTE	0	0,00
POCO SATISFACTORIO	35	26,03
CUASI SATISFACTORIO	70	52,05
SATISFACTORIO	100	34,92

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

En la Figura 1-4 se muestra como cada valor obtenido es comparado con los valores del umbral de desempeño.

Los valores de nivel de cumplimiento de los criterios evaluados de la gestión de mantenimiento, se los obtuvo utilizando el instrumento de evaluación desarrollado, para conocer el nivel de cumplimiento de la gestión de mantenimiento a la infraestructura civil de la ESPOCH (ver **Tabla 2-4**).



**Figura 1-4:** Desempeño de la gestión de mantenimiento de la ESPOCH.  
Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

**Tabla 2-4:** Valores del nivel de cumplimiento de la gestión de mantenimiento ESPOCH.

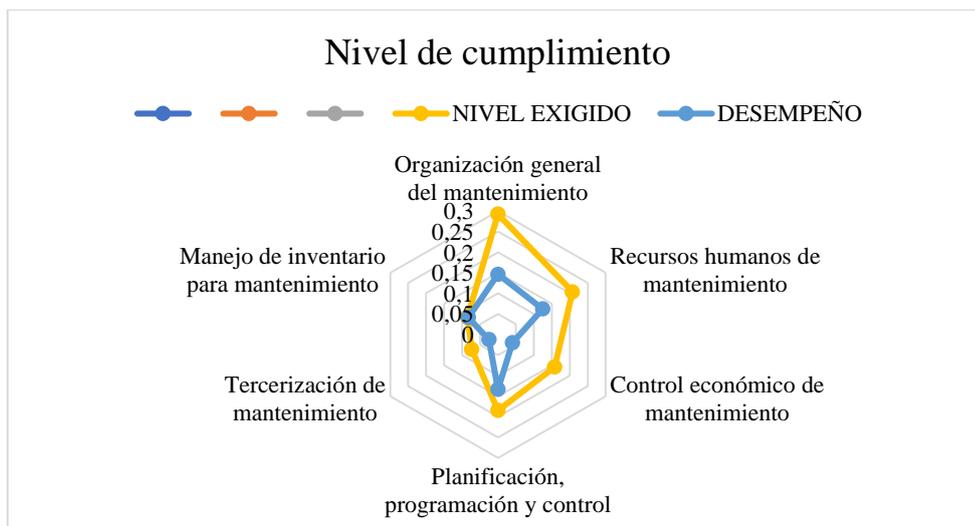
REQUERIMIENTOS	NIVEL EXIGIDO	DEFICIENTE	POCO SATISFACTORIO	CUASI SATISFACTORIO	SATISFACTORIO	DESEMPEÑO
Organización general del mantenimiento	29%	0,00	5,12	10,24	14,63	15%
Recursos humanos de mantenimiento	21%	0,00	7,22	14,44	3,86	12%
Control económico de mantenimiento	16%	0,00	2,76	5,52	0,00	4%
Planificación, programación y control	18%	0,00	6,36	12,73	8,23	13%
Tercerización de mantenimiento	7%	0,00	1,69	3,37	0,00	2%
Manejo de inventario para mantenimiento	8%	0,00	2,87	5,75	8,21	8%
<b>TOTAL</b>						<b>55%</b>

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

En la Figura 2-4 se muestra la comparación que se realiza de los valores alcanzados por el DMDF con respecto a los valores del nivel de cumplimiento exigidos.

La evaluación da a conocer que la gestión de mantenimiento de la infraestructura civil de la ESPOCH es de un 55%, lo cual cae en la categoría de cuasi satisfactorio.

Mediante el desarrollo del trabajo se espera mejorar aspectos como la organización general del mantenimiento específicamente en la aplicación de un sistema informático en la planificación del mantenimiento de la infraestructura académica de la institución.



**Figura 2-4:** Nivel de cumplimiento de la gestión de mantenimiento ESPOCH.  
Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

4.1.2 *Evaluación de la gestión de mantenimiento a los laboratorios de la facultad de mecánica.* La evaluación de la gestión de mantenimiento se lo realizó en cada uno de los laboratorios y talleres de la Facultad de Mecánica, con ayuda del instrumento de evaluación elaborado.

En el laboratorio de Generación de Vapor de la Carrera de Ingeniería de Mantenimiento, se obtuvo los resultados para cada nivel de cumplimiento evaluado. (ver **Tabla 3-4**).

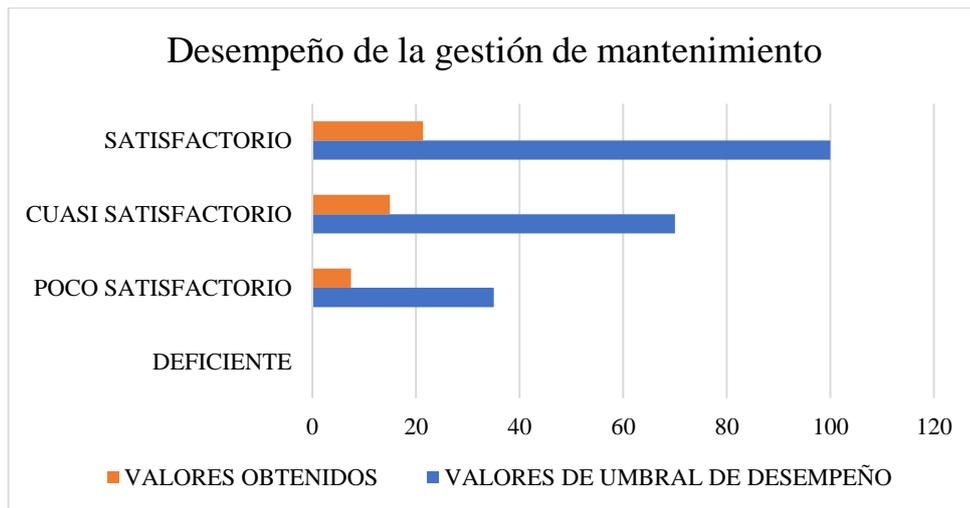
**Tabla 3-4:** Valores de desempeño de la gestión de mantenimiento del laboratorio de Generación de Vapor.

CUMPLIMIENTO	TABLA DE COMPARACION	
	VALORES DE UMBRAL DE DESEMPEÑO	VALORES OBTENIDOS
DEFICIENTE	0	0,00
POCO SATISFACTORIO	35	7,46
CUASI SATISFACTORIO	70	14,93
SATISFACTORIO	100	21,32

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

En la **Figura 3-4** se muestra la comparación de los valores obtenidos con los valores del nivel de cumplimiento evaluados.

La valoración obtenida en cada criterio evaluado será mostrada en la **Tabla 4-4**, midiéndose así el nivel de cumplimiento que tiene el laboratorio en la gestión de mantenimiento de sus equipos.



**Figura 3-4:** Desempeño de la gestión de mantenimiento del laboratorio de Generación de Vapor.

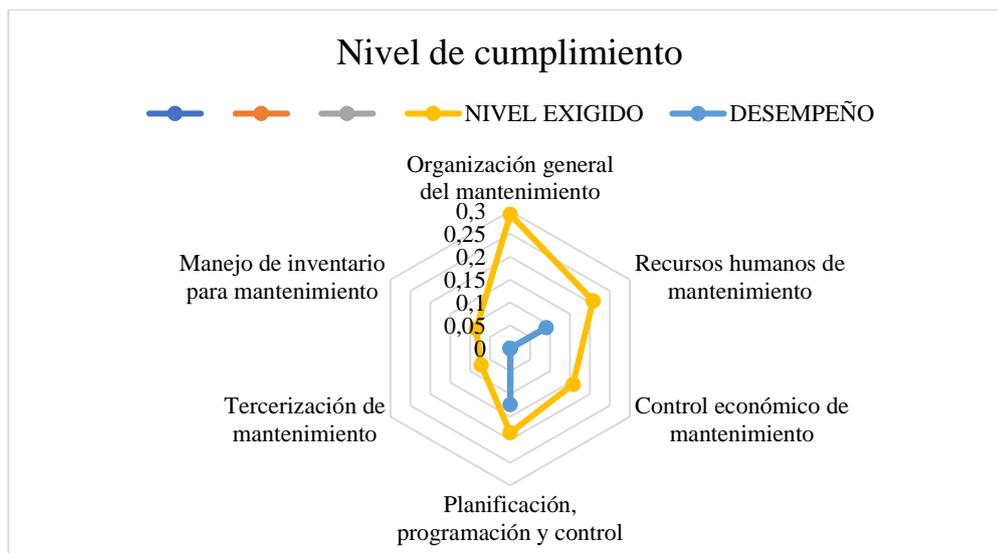
Fuente: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

**Tabla 4-4:** Valores del nivel de cumplimiento de la gestión de mantenimiento laboratorio de Generación de Vapor

REQUERIMIENTOS	NIVEL EXIGIDO	DEFICIENTE	POCO SATISFACTORIO	CUASI SATISFACTORIO	SATISFACTORIO	DESEMPEÑO
Organización general del mantenimiento	29%	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
Recursos humanos de mantenimiento	21%	0,00	3,15	6,30	9,00	9%
Control económico de mantenimiento	16%	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
Planificación, programación y control	18%	0,00	4,31	8,63	12,32	12%
Tercerización de mantenimiento	7%	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
Manejo de inventario para mantenimiento	8%	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
<b>TOTAL</b>						<b>21%</b>

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

La **Figura 4-4** muestra una comparación de los resultados de la evaluación de la gestión de mantenimiento de la maquinaria y equipos en el laboratorio de Generación de Vapor con el nivel de exigencia que se valora. La evaluación da como resultado que el nivel de cumplimiento es del 21% de la gestión de mantenimiento, por lo que incurre en la categoría de poco satisfactorio.



**Figura 4-4:** Nivel de cumplimiento de la gestión de mantenimiento laboratorio de Generación de Vapor.

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

Cada uno de los laboratorios y talleres de la Facultad que son parte del proyecto fueron evaluados, y los resultados totales se pueden ver en la **Tabla 5-4**.

**Tabla 5-4:** Evaluación de la gestión de mantenimiento de talleres y laboratorios de la Facultad.

<b>LABORATORIOS Y TALLERES EVALUADOS</b>	<b>VALOR</b>
Laboratorio de Electricidad I de la Carrera de Ingeniería de Mantenimiento	8%
Laboratorio de Electrónica de la Carrera de Ingeniería de Mantenimiento	8%
Laboratorio de Electricidad II y Máquinas Eléctricas de la Carrera de Ingeniería de Mantenimiento	8%
Laboratorio de Generación de Vapor de la Carrera de Ingeniería de Mantenimiento	21%
Taller de Fundición	5%
Laboratorio de tratamientos térmicos del Taller de Fundición	5%
Laboratorio de arenas del Taller de Fundición	5%
Laboratorio de Tintas Penetrantes de la Carrera de Ingeniería Industrial	5%
Laboratorio de Mecatrónica de la Carrera de Ingeniería de Mantenimiento	5%
Laboratorio de Termodinámica Aplicada de la Carrera de Ingeniería Mecánica	19%
Taller de Reparaciones de la Facultad de Mecánica	5%
Valor promedio de la evaluación de laboratorios	8.54%

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

Para ver la evaluación completa de la gestión de mantenimiento respecto a los talleres, maquinaria y equipos de la Carrera de Ingeniería de Mantenimiento y la Facultad de

Mecánica ver anexo B.

#### **4.2 Resultados de la aplicación de la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad.**

Las tareas de mantenimiento que se obtuvieron a partir del análisis de fallos y modos de fallo son codificadas acorde al tipo de tarea que se muestra en la Tabla 45-3

Entonces:

- T:B Tarea de lubricación
- T:C Tarea de inspección preventiva
- T:D Tarea de inspección predictiva
- T:E Trabajo preventivo
- T:F Reemplazo/Sustitución

4.2.1 *Tareas de mantenimiento para la infraestructura civil.* En la Tabla 6-4 se muestra las tareas de mantenimiento obtenidas y que serán aplicadas a cada uno de los equipos civiles encontrados en cada uno de los edificios.

**Tabla 6-4:** Tareas de mantenimiento y su logística de los equipos civiles.

DESCRIPCIÓN	CÓDIGO DE LA TAREA DE MANTENIMIENTO	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA (semanas)	TIEMPO DE EJECUCIÓN	MATERIALES	HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	MANO DE OBRA
Laboratorios, oficinas, aulas, bodegas,	T:C	Inspección del estado de paredes, puertas, ventanas, piso y cielo raso	26	10 min			Técnico DMDF
Iluminación	T:C	Inspección del estado de las lámparas	26	5 min		Guantes aislantes	Técnico DMDF
Interruptores	T:C	Inspección del correcto funcionamiento del interruptor	26	5 min			Técnico DMDF
Tomacorrientes	T:C	Verificación del correcto funcionamiento del tomacorriente (Medición con multímetro o lámpara piloto)	26	10 min		Multímetro, lámpara piloto, guantes aislantes	Técnico DMDF
Extintor	T:C	Inspección del estado de la carga del extintor	26	5 min			Técnico DMDF
	T:F	Cambio de carga extinguidora y mantenimiento general del extintor	52				Trabajo externo
Pulsador	T:C	Verificación del correcto funcionamiento del pulsador	26	5 min			Técnico DMDF
Lámpara de emergencia	T:E	Pruebas de funcionamiento de la lámpara de emergencia	26	10 min			Técnico DMDF
Ductos de ventilación	T:E	Limpieza de ductos de ventilación	26	15 min	Mascarilla	Brocha, espátula, franela	Técnico DMDF
Sensor de humo	T:E	Pruebas de funcionamiento del sensor de humo	26	10 min			Técnico DMDF

**Tabla 6-4 (Continuación):** Tareas de mantenimiento y su logística de los equipos civiles.

Sensor de movimiento	T:E	Pruebas de funcionamiento del sensor de movimiento	26	10 min			Técnico DMDF
Centro de carga	T:C	Inspección del estado del centro de carga del edificio	52	10 min		Multímetro, lámpara piloto, guantes aislantes	Técnico DMDF
Caja de accionamiento	T:C	Inspección del estado de la caja de accionamiento	52	10 min		Multímetro, lámpara piloto, guantes aislantes	Técnico DMDF
Tablero eléctrico	T:C	Inspección del estado del tablero eléctrico	52	10 min		Multímetro, lámpara piloto, guantes aislantes	Técnico DMDF
S.S.H.H	T:C	Inspección del estado de paredes, puertas, ventanas, piso, cielo raso e instalaciones hidrosanitarias	26	10 min			Técnico DMDF
Fachada	T:E	Pintado de exteriores del edificio	260	5 días	Empaste para exteriores, pintura, lija, rodillo	Espátula, brocha	Técnicos DMDF
Edificio	T:E	Pintado de interiores del edificio	156	5 días	Empaste para interiores, pintura, lija, rodillo	Espátula, brocha	Técnicos DMDF
Cubierta	T:C	Inspección del estado de la cubierta y base estructural	26	5 min			Técnico DMDF

**Tabla 6-4 (Continuación):** Tareas de mantenimiento y su logística de los equipos civiles.

Canaletas agua	T:E	Limpieza de las canaletas de agua	26	120 min	Mascarilla	Brocha, espátula, franela	Técnico DMDF
Hall	T:C	Inspección del estado de paredes, puertas, ventanas, piso y cielo raso	26	10 min			Técnico DMDF
Cisterna	T:C	Inspección del estado de paredes, piso y tapa de la cisterna	52	10 min			Técnico DMDF
Mezanine	T:C	Inspección del estado de estructura de mezanine	26	10 min			Técnico DMDF
Ventiladores	T:C	Inspección del estado del ventilador	26	10 min			Técnico DMDF
Gradas	T:C	Inspección del estado de piso, paredes y pasamanos	26	10 min			Técnico DMDF
Cámaras de vigilancia	T:C	Verificación del funcionamiento de las cámaras de vigilancia	26	10 min			Técnico DMDF

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

4.2.2 *Tareas de mantenimiento para los equipos de laboratorio de la facultad de mecánica.* Las tareas de mantenimiento para los equipos de talleres y laboratorios han sido determinadas a partir del análisis de fallos y modos de fallo. Cada tarea está propuesta con su respectiva frecuencia y logística. En la **Tabla 7-4** se enlistan todos los equipos de cada laboratorio y taller que se categorizaron en un modelo de mantenimiento básico donde se establecieron tareas como inspecciones, lubricación y limpiezas.

En la **Tabla 8-4** se detallan los equipos que se categorizaron en un modelo de mantenimiento condicional, donde se ha determinado actividades como inspecciones preventivas y predictivas, limpiezas por condición y verificaciones en operación.

La **Tabla 9-4** muestra las actividades que se van a realizar en equipos que se clasificaron en un modelo de mantenimiento sistemático.

**Tabla 7-4:** Tareas de mantenimiento para equipos con modelo de mantenimiento básico.

<b>CÓDIGO DEL EQUIPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO</b>	<b>CÓDIGO TAREA DE MTO</b>	<b>TAREAS DE MANTENIMIENTO</b>	<b>FRECUENCIA(SEMANAS)</b>	<b>TIEMPO DE EJECUCIÓN</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>HERRAMIENTAS Y EQUIPOS</b>	<b>MANO DE OBRA</b>
<b>LABORATORIO DE TERMODINÁMICA APLICADA DEL EDIFICIO M27</b>								
M-L005-001-M-IC01	Intercambiador de calor de flujo cruzado	T:C1	Inspección del estado de los tubos del intercambiador de calor	52	15 min		Guantes aislantes	Técnico docente
M-L005-001-M-VV01	Ventilador centrífugo del banco de pruebas de intercambiador de calor de flujo cruzado	T:C13	Inspección del estado del ventilador	52	10 min		Guantes aislantes	Técnico docente
M-L005-002-M-DP01	Recipiente del intercambiador de calor de camisa y serpentín	T:C1	Inspección del estado del recipiente del intercambiador de calor de camisa y serpentín	26	5 min		Guantes aislantes	Técnico docente
M-L005-002-M-SR01	Serpentín interno del intercambiador de calor de camisa y serpentín	T:C1	Inspección de la existencia de fugas en el serpentín interno del intercambiador de calor de camisa y serpentín	26	5 min		Guantes aislantes	Técnico docente
		T:E1	Limpieza del serpentín	52	60 min	detergente, agua, alcohol o solvente	brocha, cepillo, franela, lija, compresor de aire	Técnico docente

**Tabla 7-4 (Continuación):** Tareas de mantenimiento para equipos con modelo de mantenimiento básico.

M-L005-002-M-AG01	Agitador del intercambiador de calor de camisa y serpentín	TC1	Inspección del estado del agitador del intercambiador de calor de camisa y serpentín	26	5 min		Guantes aislantes	Técnico docente
M-L005-002-M-EQ01	Tuberías y accesorios del intercambiador de calor de camisa y serpentín	T:C5	Inspección del estado de tuberías y accesorios del intercambiador de calor de camisa y serpentín	26	5 min		Guantes aislantes	Técnico docente
M-L005-002-E-ME01	Motor agitador del intercambiador de calor de camisa y serpentín	T:C9	Inspección del estado del motor agitador del intercambiador de calor de camisa y serpentín	26	15 min		Guantes aislantes	Técnico docente
M-L005-003-P-MP01	Banco termodinámico para la determinación de la constante R del Laboratorio de Termodinámica Aplicada	T:C1	Inspección del estado de la bomba de vacío y arrancador del banco termodinámico para la determinación de la constante R	52	20 min		Guantes aislantes	Técnico docente
M-L005-004-P-MP01	Generador de hielo tubular del Laboratorio de Termodinámica Aplicada	T:C1	Inspección del estado del sistema de refrigeración	52	10 min		Guantes aislantes	Técnico docente
		T:C2	Inspección visual de cañerías del generador de hielo tubular	52	10 min			Técnico docente
		T:B1	Lubricación de los ejes de los ventiladores de la unidad condensadora	52	20 min	Aceite lubricante de baja viscosidad, guaipe	Aceitero	Técnico docente
M-L005-005-M-EQ01	Tuberías y accesorios del sistema de generación de vapor	T:C5	Inspección del estado de tuberías y accesorios del sistema de generación de vapor	26	10 min		Guantes aislantes	Técnico docente
M-L005-005-I-CT01	Control de presión del sistema de generación de vapor	T:C1	Inspección del correcto funcionamiento	26	10 min		Guantes aislantes	Técnico docente
M-L005-005-S-VS01	Válvula de seguridad del sistema de generación de vapor	T:C1	Inspección del estado de la válvula de seguridad del sistema de generación de vapor	26	10 min			Técnico docente
		T:E1	Pruebas de funcionamiento de la válvula de seguridad del sistema de generación de vapor	52	90 min		Guantes aislantes	Técnico docente

**Tabla 7-4 (Continuación):** Tareas de mantenimiento para equipos con modelo de mantenimiento básico.

M-L005-007-M-EQ01	Tuberías y accesorios del intercambiador de calor de doble tubo	T:C5	Inspección del estado de tuberías y accesorios del intercambiador de calor de doble tubo	26	10 min		Guantes aislantes	Técnico docente
M-L005-008-M-EQ01	Tuberías y accesorios del intercambiador de calor de placas	T:C5	Inspección del estado de tuberías y accesorios del intercambiador de calor de placas	26	10 min		Guantes aislantes	Técnico docente
M-L005-008-M-IC01	Placa de transferencia de calor del intercambiador de calor de placas	T:C1	Inspección del estado de la placa de transferencia de calor del intercambiador de calor de placas	26	10 min			Técnico docente
M-L005-009-M-IC01	Intercambiador de calor Baudelot	T:C1	Inspección del estado del sistema de refrigeración	52	10 min		Guantes aislantes	Técnico docente
				52	10 min		Guantes aislantes	Técnico docente
				52	10 min		Guantes aislantes	Técnico docente
		T:C2	Inspección visual de cañerías del generador de hielo tubular	52	10 min			Técnico docente
		T:B1	Lubricación de los ejes de los ventiladores de la unidad condensadora	52	20 min	Aceite lubricante de baja viscosidad, guaípe	Aceitero	Técnico docente
M-L005-010-P-MP01	Banco de refrigeración	T:C1	Inspección del estado del sistema de refrigeración	52	10 min		Guantes aislantes	Técnico docente
				52	10 min		Guantes aislantes	Técnico docente
				52	10 min		Guantes aislantes	Técnico docente
		T:C2	Inspección visual de cañerías del generador de hielo tubular	52	10 min			Técnico docente
		T:B1	Lubricación de los ejes de los ventiladores de la unidad condensadora	52	20 min	Aceite lubricante de baja viscosidad, guaípe	Aceitero	Técnico docente
<b>TALLER DE FUNDICIÓN EDIFICIO M32</b>								

**Tabla 7-4 (Continuación):** Tareas de mantenimiento para equipos con modelo de mantenimiento básico.

M-L035-001-M-DR01	Durómetro para medir la dureza de la arena de 0 a 100 dimensional, en estuche	T:E1	Limpieza general del durómetro	26	60 min		brocha, cepillo, franela, compresor de aire	Técnico docente
M-L035-001-M-DR02	Durómetro con identador con diamante	T:C1	Inspección del estado del durómetro	26	10 min			Técnico docente
		T:B1	Lubricación del tornillo de ascenso y descenso	26	20 min	Aceite lubricante de baja viscosidad, guaípe	Aceitero	Técnico docente
M-L035-003-M-MF01	Mufla cilíndrica	T:C1	Inspección del estado de la mufla	26	10 min			Técnico docente
		T:E1	Limpieza de la cámara de calentamiento	26	60 min	detergente, agua	brocha, cepillo, franela, lija, compresor de aire	Técnico docente
M-L035-004-M-MD01	Máquina para moldeo en cascara del Taller de Fundición	T:C1	Inspección del estado del equipo	26	10 min			Técnico docente
		T:E1	Limpieza de la cámara de moldeo	26	60 min	detergente, agua	brocha, cepillo, franela, lija, compresor de aire	Técnico docente
M-L035-005-M-EB01	Esmeril de banco 1 potencia 1HP, 110 V del Taller de Fundición	T:C1	Inspección del estado del esmeril	26	10 min			Técnico docente
M-L035-006-M-HH01	Horno eléctrico a inducción tipo mf del Taller de Fundición	T:C2	Inspección del estado del horno	26	10 min			Técnico docente
		T:E1	Limpieza general del horno de inducción	26	60 min		brocha, cepillo, franela, lija, compresor de aire	Técnico docente
M-L035-006-M-HH02	Horno de cubilote de hierro/ con motor WEG	T:E1	Limpieza general del horno de cubilote	26	60 min		brocha, cepillo, franela, lija, compresor de aire	Técnico docente
M-L035-007-M-DS01	Desmoldadora de arena capacidad 150 kg del Taller de Fundición	T:C1	Inspección del estado de la Desmoldadora	26	10 min			Técnico docente
		T:E1	Limpieza general de la Desmoldadora	26	60 min		brocha, cepillo, franela, lija, compresor de aire	Técnico docente

**Tabla 7-4 (Continuación):** Tareas de mantenimiento para equipos con modelo de mantenimiento básico.

LABORATORIO DE GENERACIÓN DE VAPOR DEL EDIFICIO M51								
M-L045-001-M-DP01	Tanque presurizado del sistema de alimentación de agua	T:C2	Inspección de existencias de fugas	26	10 min			Técnico docente
M-L045-001-I-CT01	Presostato del sistema de alimentación de agua	T:C1	Inspección del correcto funcionamiento del presostato	26	10 min			Técnico docente
M-L045-001-M-EQ01	Tubería y accesorios del sistema de alimentación de agua	T:C5	Inspección del estado de tuberías y accesorios	26	10 min		Guantes aislantes	Técnico docente
M-L045-007-M-DP01	Tanque de condensado	T:C2	Inspección de existencias de fugas	26	10 min			Técnico docente
M-L045-007-E-ME01	Motor eléctrico marca Lincoln Electric del sistema de condensado	T:C9	Inspección del estado del motor eléctrico	26	10 min			Técnico docente
M-L045-007-M-BB01	Bomba centrífuga del sistema de condensado	T:B5	Lubricación del acople	26	30 min	Grasa, guaipe	Grasero	Técnico docente
		T:C6	Inspección del correcto funcionamiento de la bomba	26	45 min			Técnico docente
M-L045-007-M-EQ01	Tuberías y accesorios del sistema de condensado	T:C5	Inspección del estado de tuberías y accesorios	26	10 min		Guantes aislantes	Técnico docente
M-L045-002-M-DP01	Tanque ablandador del sistema de ablandamiento de agua	T:C2	Inspección de existencias de fugas	26	10 min			Técnico docente
M-L045-002-I-EC01	Cabezal del ablandador del sistema de ablandamiento de agua	T:E1	Limpieza del cabezal	26	10 min		Franela, brocha	Técnico docente
M-L045-002-M-DP02	Tanque de salmuera del sistema de ablandamiento de agua	T:C2	Inspección de existencias de fugas	26	10 min			Técnico docente
M-L045-002-M-EQ01	Tubería y accesorios del sistema de ablandamiento de agua	T:C5	Inspección del estado de tuberías y accesorios	26	10 min		Guantes aislantes	Técnico docente
M-L045-003-M-DP01	Tanque de 55 gal del sistema de suministro de combustible	T:C2	Inspección de existencias de fugas	26	10 min			Técnico docente
M-L045-003-M-EQ01	Tubería y accesorios del sistema de suministro de combustible	T:C5	Inspección del estado de tuberías y accesorios	26	10 min		Guantes aislantes	Técnico docente
M-L045-004-M-EQ01	Tubería y accesorios del sistema de distribución de vapor	T:C5	Inspección del estado de tuberías y accesorios	26	10 min		Guantes aislantes	Técnico docente
M-L045-004-S-VS01	Válvula de seguridad del sistema de distribución de vapor	T:E1	Pruebas de funcionamiento de la válvula	52	20 min			Técnico docente

**Tabla 7-4 (Continuación):** Tareas de mantenimiento para equipos con modelo de mantenimiento básico.

M-L045-005-I-EC01	Controles de presión de trabajo (presuretrol) del caldero de laboratorio de generación de vapor	T:C1	Inspección del correcto funcionamiento de los controladores de presión	26	20 min			Técnico docente
M-L045-006-E-TE01	Tablero de control automático del caldero	T:C24	Inspección del estado del tablero eléctrico	26	10 min			Técnico docente
M-L045-008-M-DP01	Tanque de almacenamiento del sistema de tratamiento químico	T:C2	Inspección de existencias de fugas	26	10 min			Técnico docente
M-L045-008-M-BB01	Bomba mezcladora marca General Electric del sistema de tratamiento químico	T:C6	Inspección del correcto funcionamiento de la bomba	26	10 min			Técnico docente
M-L045-008-E-ME01	Motor eléctrico marca General Electric del sistema de tratamiento químico	T:C9	Inspección del estado del motor eléctrico	26	10 min			Técnico docente
M-L045-008-M-EQ01	Tuberías y accesorios del sistema de tratamiento químico	T:C5	Inspección del estado de tuberías y accesorios	26	10 min		Guantes aislantes	Técnico docente
<b>LABORATORIO DE MECATRÓNICA DEL EDIFICIO M27</b>								
M-L010-001-M-EQ01	Tuberías y accesorios del sistema de aire comprimido	T:C5	Inspección del estado de tuberías y accesorios	26	10 min		Guantes aislantes	Técnico docente
M-L010-001-M-ST01	Transmisión por banda del sistema de aire comprimido	T:C5	Inspección del estado de las bandas y poleas	26	10 min			Técnico docente
M-L010-002-M-CP01	Compresor de aire marca Poppers del brazo robótico	T:E6	Drenar condensado de agua	26	20 min			Técnico docente
M-L010-002-E-TC01	Tablero de control del brazo robótico	T:E1	Limpieza y ajuste de contactos del tablero	26	15 min		Franela, brocha	Técnico docente
M-L010-002-E-TE01	Tablero de control del módulo de tesis	T:E8	Limpieza y ajuste de contactos del tablero	26	15 min		Franela, brocha	Técnico docente
M-L010-002-T-MT01	Módulos de simulación de procesos	T:E1	Limpieza de los módulos de prácticas	26	15 min		Franela, brocha	Técnico docente
M-L010-003-T-MT01	Banco de pruebas del Laboratorio de Mecatrónica	T:E1	Limpieza de los bancos de pruebas	26	15 min		Franela, brocha	Técnico docente
M-L010-003-T-MT02	Equipo de manipulación flexible e 3 ejes del banco de pruebas del Laboratorio de Mecatrónica	T:E1	Limpieza de los módulos de prácticas	26	15 min		Franela, brocha	Técnico docente

**Tabla 7-4 (Continuación):** Tareas de mantenimiento para equipos con modelo de mantenimiento básico.

M-L010-003-T-MT03	Sistema mecatrónico módulo de almacén automático del banco de pruebas del Laboratorio de Mecatrónica	T:E1	Limpieza de los módulos de prácticas	26	15 min		Franela, brocha	Técnico docente
M-L010-004-T-MT01	Módulo de simulación neumático 1	T:E1	Limpieza de los módulos de prácticas	26	15 min		Franela, brocha	Técnico docente
M-L010-004-T-MT02	Módulo de simulación neumático 2	T:E1	Limpieza de los módulos de prácticas	26	15 min		Franela, brocha	Técnico docente
M-L010-004-T-MT03	Módulo de simulación neumático 3	T:E1	Limpieza de los módulos de prácticas	26	15 min		Franela, brocha	Técnico docente
<b>LABORATORIO DE ELECTRICIDAD I DEL EDIFICIO M27</b>								
M-L015-001-E-GP01	Grupo de pruebas para transformadores 1 del Laboratorio de Electricidad I	T:C1	Inspección del estado del banco de pruebas para transformadores	26	15 min			Técnico docente
M-L015-001-E-GP02	Grupo de pruebas para transformadores 2 del Laboratorio de Electricidad I	T:C1	Inspección del estado del banco de pruebas para transformadores	26	15 min			Técnico docente
<b>LABORATORIO DE ELECTRICIDAD II Y MÁQUINAS ELÉCTRICAS DEL EDIFICIO M27</b>								
M-L025-002-E-ME29	Motor de repulsión-inducción	T:C9	Inspección del estado del motor	26	15 min			Técnico docente
M-L025-003-E-TR01	Transformadores monofásicos	T:E2	Limpieza exterior e interior del transformador	26	15 min		Franela, brocha	Técnico docente
M-L025-003-E-TR16	Transformadores trifásicos	T:E2	Limpieza exterior e interior del transformador	26	15 min		Franela, brocha	Técnico docente
M-L025-004-I-IN01	Voltímetro AC	T:C1	Inspección del estado del voltímetro	26	15 min			Técnico docente
M-L025-004-I-IN06	Amperímetro AC	T:C1	Inspección del estado del amperímetro	26	15 min			Técnico docente
M-L025-006-E-MI06	Módulo de sincronización	T:C1	Inspección del estado del módulo	26	15 min			Técnico docente
M-L025-005-E-CR12	Carga inductiva 1 del Laboratorio de Electricidad II y Máquinas Eléctricas	T:E1	Limpieza exterior e interior del módulo	26	15 min		Franela, brocha	Técnico docente
M-L025-005-E-CR01	Carga resistiva 1 del Laboratorio de Electricidad II y Máquinas Eléctricas	T:E1	Limpieza exterior e interior del módulo	26	15 min		Franela, brocha	Técnico docente
M-L025-005-E-CR06	Carga capacitiva 1 del Laboratorio de Electricidad II y Máquinas Eléctricas	T:E1	Limpieza exterior e interior del módulo	26	15 min		Franela, brocha	Técnico docente

**Tabla 7-4 (Continuación):** Tareas de mantenimiento para equipos con modelo de mantenimiento básico.

M-L025-004-I-ME01	Vatímetro trifásico 1 del Laboratorio de Electricidad II y Máquinas Eléctricas	T:C1	Inspección del estado del vatímetro	26	15 min			Técnico docente
M-L025-004-I-ME07	Vatímetro monofásico 1 del Laboratorio de Electricidad II y Máquinas Eléctricas	T:C1	Inspección del estado del vatímetro	26	15 min			Técnico docente
M-L025-002-E-ME31	Electrodinamómetro	T:C9	Inspección del estado del equipo	26	15 min			Técnico docente
M-L025-002-E-MI06	Control de velocidad con tiristor	T:C1	Inspección del estado del módulo	26	15 min			Técnico docente
M-L025-006-E-MI01	Arrancador para motor sincrónico	T:C1	Inspección del estado del módulo	26	15 min			Técnico docente
M-L025-006-E-MI10	Arrancador trifásico directo	T:C1	Inspección del estado del módulo	26	15 min			Técnico docente
M-L025-004-I-ME11	Voltímetro -Amperímetro CC	T:C1	Inspección del estado del voltímetro/amperímetro	26	15 min			Técnico docente
M-L025-006-E-MI12	Arrancador para motor de CC	T:C1	Inspección del estado del módulo	26	15 min			Técnico docente
M-L025-006-E-MI14	Reóstato trifásico	T:C1	Inspección del estado del módulo	26	15 min			Técnico docente
M-L025-002-E-ME35	Dinamómetro/Fuente de alimentación de 4 cuadrantes	T:C1	Inspección del estado del equipo	26	15 min			Técnico docente
<b>LABORATORIO DE ELECTRÓNICA DEL EDIFICIO M27</b>								
M-L020-001-E-MA01	Fuente de alimentación 1 del Laboratorio de Electrónica	T:C1	Verificación del correcto funcionamiento del equipo	26	15 min			Técnico docente
<b>LABORATORIO DE TINTAS PENETRANTES DEL EDIFICIO M49</b>								
M-L040-001-T-MT01	Planta de tratamientos superficiales del Laboratorio de Tintas Penetrantes	T:E1	Limpieza exterior e interior del módulo	26	15 min		Franela, brocha	Técnico docente
<b>TALLER DE REPARACIONES DE LA FACULTAD DE MECÁNICA EDIFICIO M17</b>								
M-L030-001-M-CP01	Compresor de aire marca Campbell Hausfeld del sistema de aire comprimido	T:E6	Drenar condensado de agua	26	15 min			Técnico docente
M-L030-001-M-DP01	Tanque vertical de 5 HP/ 175 PSI de 80 gal del sistema de aire comprimido	T:C2	Inspección de existencia de fugas	26	15 min			Técnico docente
M-L030-001-E-ME01	Motor Emerson 3500 RPM de 220 V del sistema de aire comprimido	T:C9	Inspección del estado del motor	26	15 min			Técnico docente

**Tabla 7-4 (Continuación):** Tareas de mantenimiento para equipos con modelo de mantenimiento básico.

M-L030-001-M-EQ01	Tuberías y accesorios del sistema de aire comprimido	T:C5	Inspección del estado de tuberías y accesorios	26	10 min		Guantes aislantes	Técnico docente
M-L030-002-M-TA01	Taladro de banco del Taller de Reparaciones	T:C1	Inspección del estado del taladro del banco	26	15 min			Técnico docente
M-L030-002-M-EB01	Esmeril de banco marca DeWalt del Taller de Reparaciones	T:C1	Inspección del estado del esmeril	26	15 min			Técnico docente

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

**Tabla 8-4:** Tareas de mantenimiento para equipos con modelo de mantenimiento condicional.

CODIGO DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	CÓDIGO TAREA DE MTO	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	TIEMPO DE EJECUCIÓN	MATERIALES	HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	MANO DE OBRA
<b>LABORATORIO DE TERMODINÁMICA APLICADA DEL EDIFICIO M27</b>								
M-L005-005-M-CL01	Caldero del sistema de generación de vapor	T:E1	Ajustes de los pernos de anclaje	52	15 min		Caja de herramientas	Técnico docente
		T:E4	Limpieza del hogar y ductos de transferencia de calor	208	1200 min	Mascarilla, lija, solvente	brocha, cepillo, franela, compresor de aire, caja de herramientas	
		T:C5	Inspección de la existencia de fugas	26	10 min			Técnico docente
M-L005-005-E-TE01	Tablero de control del sistema de generación de vapor	T:E5	Limpieza de los componentes del tablero	26	20 min		Compresor de aire	Técnico docente
		T:C24	Inspección y ajuste de las conexiones del tablero	26	30 min		Multímetro	Técnico docente
M-L005-005-I-CT01	Control de nivel de agua del sistema de generación de vapor	T:C1	Inspección del correcto funcionamiento del equipo	26	20 min			Técnico docente
		T:E1	Limpieza y calibración del controlador	52	240 min	Mascarilla, lija, solvente	brocha, cepillo, franela, compresor de aire, caja de herramientas	Técnico docente

**Tabla 8-4 (Continuación):** Tareas de mantenimiento para equipos con modelo de mantenimiento condicional.

M-L005-005-M-BB01	Bomba de agua del sistema de generación de vapor	T:C6	Inspección del correcto funcionamiento de la bomba	26	15 min			Técnico docente
		T:C1	Inspección de existencia de fugas	26	10 min			Técnico docente
M-L005-005-M-QM01	Quemador del sistema de generación de vapor	T:E2	Limpieza del filtro de combustible	26	20 min		Compresor de aire, caja de herramientas	Técnico docente
		T:E1	Prueba de funcionamiento de la bomba de combustible	26	15 min			Técnico docente
		T:C1	Inspección del estado de los electrodos	26	30 min		caja de herramientas	Técnico docente
M-L005-006-M-IC01	Intercambiador de calor de carcaza y tubos	T:C1	Inspección del estado del equipo	26	15 min			Técnico docente
		T:E1	Limpieza general del intercambiador	26	15 min	Mascarilla, lija, solvente	brocha, cepillo, franela, compresor de aire, caja de herramientas	Técnico docente
		T:E2	Pruebas de funcionamiento del equipo	26	20 min			Técnico docente
M-L005-007-M-IC01	Intercambiador de calor de doble tubo	T:C1	Inspección del estado del equipo	26	15 min			Técnico docente
		T:E1	Limpieza general del intercambiador	26	15 min	Mascarilla, lija, solvente	brocha, cepillo, franela, compresor de aire, caja de herramientas	Técnico docente
		T:E2	Pruebas de funcionamiento del equipo	26	20 min			Técnico docente
<b>TALLER DE FUNDICIÓN EDIFICIO M32</b>								
M-L035-002-M-EC01	Puente grúa con tecla, capacidad de levantamiento, 2 toneladas	T:B1	Lubricación de partes móviles	26	60 min	Grasa multipropósito	Engrasadora	Técnico docente
		T:C1	Inspección del estado cables y poleas	26	20 min			Técnico docente
		T:E1	Pruebas de funcionamiento del equipo	26	20 min			Técnico docente

**Tabla 8-4 (Continuación):** Tareas de mantenimiento para equipos con modelo de mantenimiento condicional.

LABORATORIO DE GENERACIÓN DE VAPOR DEL EDIFICIO M51								
M-L045-001-E-ME01	Motor eléctrico de la bomba del sistema de alimentación de agua	T:D2	Escuchar ruidos de rodamientos	26	10 min		Detector de ruidos	Técnico docente
		T:E1	Verificación y ajuste del anclaje del equipo	26	10 min			Técnico docente
M-L045-004-M-DV01	Distribuidor del sistema de distribución de vapor	T:C1	Inspección del estado del equipo y existencia de fugas	26	10 min			Técnico docente
M-L045-005-E-TC01	Panel de control principal del caldero de laboratorio de generación de vapor	T:E1	Limpieza de los componentes del tablero	26	10 min		Brocha, franela	Técnico docente
		T:C2	Inspección y ajuste de las conexiones del tablero	26	15 min		caja de herramientas	Técnico docente
M-L045-005-E-ME01	Motor marca Marathon Electric del ventilador de tiro forzado del caldero de laboratorio de generación de vapor	T:C6	Escuchar ruidos anormales en el motor	26	10 min		Detector de ruidos	Técnico docente
		T:C9	Inspección del estado del motor	26	10 min			Técnico docente
M-L045-005-I-EC01	Controlador de nivel de agua del caldero de laboratorio de generación de vapor	T:C1	Inspección del correcto funcionamiento del equipo	26	10 min			Técnico docente
		T:E1	Limpieza y calibración del controlador	104	240 min	Mascarilla, lija, solvente	brocha, cepillo, franela, compresor de aire, caja de herramientas	Técnico docente
M-L045-005-M-QM01	Quemador del caldero de laboratorio de generación de vapor	T:E3	Inspección y calibración de los electrodos de ignición	104	60 min		caja de herramientas	Técnico docente
		T:E2	Limpieza y revisión del filtro de la boquilla de combustible	104	30 min	Mascarilla	Compresor de aire	Técnico docente
		T:E1	Pruebas de funcionamiento del sensor de llama	104	15 min			Técnico docente

**Tabla 8-4 (Continuación):** Tareas de mantenimiento para equipos con modelo de mantenimiento condicional.

M-L045-005-M-CL01	Caldero marca Cleaver Brooks del laboratorio de generación de vapor	T:E1	Ajustes de los pernos de anclaje	26	15 min		Caja de herramientas	Técnico docente
		T:E4	Limpieza del hogar y ductos de transferencia de calor	208	1800 min	Mascarilla, lija, solvente	brocha, cepillo, franela, compresor de aire, caja de herramientas	Técnico docente
		T:D2	Inspección de temperatura	26	10 min		Computadora	Técnico docente
		T:C5	Inspección de la existencia de fugas	26	10 min			Técnico docente
M-L045-005-E-TE01	Tablero de conexiones auxiliar del caldero de laboratorio de generación de vapor	T:C24	Inspección y limpieza del tablero	26	10 min	Mascarilla	Brocha, franela	Técnico docente
<b>LABORATORIO DE MECATRÓNICA DEL EDIFICIO M27</b>								
M-L010-001-M-CP01	Compresor de aire marca Campbell Hausfeld del sistema de aire comprimido	T:B6	Limpieza del filtro de aceite	26	30 min	Mascarilla	Compresor de aire	Técnico docente
		T:C5	Inspección del correcto funcionamiento del equipo	12	10 min			Técnico docente
M-L010-001-M-DP01	Tanque vertical de 32 HP/ 135 PSI de 60 gal del sistema de aire comprimido	T:C2	Inspección de existencia de fugas	12	10 min			Técnico docente
		T:E2	Drenar condensado	26	15 min		Caja de herramientas	Técnico docente
M-L010-001-E-ME01	Motor Emerson 3500 RPM de 220 V del sistema de aire comprimido	T:C9	Inspección del estado del motor	12	10 min			Técnico docente
		T:C6	Escuchar ruidos anormales en el motor	12	10 min		Detector de ruidos	Técnico docente
M-L010-002-E-BR01	Brazo robótico	T:B1	Lubricación de ejes y rótulas	52	40 min	Grasa multipropósito	Engrasadora	Técnico docente
		T:C1	Inspección del estado eléctrico y mecánico	26	15 min		Multímetro	Técnico docente
		T:E1	Pruebas de funcionamiento del equipo	26	10 min			Técnico docente

**Tabla 8-4 (Continuación):** Tareas de mantenimiento para equipos con modelo de mantenimiento condicional.

LABORATORIO DE ELECTRICIDAD II Y MÁQUINAS ELÉCTRICAS DEL EDIFICIO M27								
M-L025-001-E-MA01	Fuente de alimentación fija y variable AC/CC monofásica y trifásica	T:C1	Verificación del correcto funcionamiento	26	10 min		Multímetro	Técnico docente
		T:E1	Limpieza interna y externa del equipo	26	20 min		Compresor de aire, franela	Técnico docente
M-L025-002-E-ME01	Motor universal	T:D2	Escuchar ruidos de rodamientos	26	10 min		Detector de ruidos	Técnico docente
		T:E3	Comprobar y ajustar conexiones en borneras	26	10 min		Multímetro	Técnico docente
		T:E4	Limpieza exterior del motor	26	10 min		Franela	Técnico docente
M-L025-002-E-ME05	Motor de inducción jaula de ardilla	T:D2	Escuchar ruidos de rodamientos	26	10 min		Detector de ruidos	Técnico docente
		T:E3	Comprobar y ajustar conexiones en borneras	26	10 min		Multímetro	Técnico docente
		T:E4	Limpieza exterior del motor	26	10 min		Franela	Técnico docente
M-L025-002-E-ME09	Motor con condensador de arranque	T:D2	Escuchar ruidos de rodamientos	26	10 min		Detector de ruidos	Técnico docente
		T:E3	Comprobar y ajustar conexiones en borneras	26	10 min		Multímetro	Técnico docente
		T:E4	Limpieza exterior del motor	26	10 min		Franela	Técnico docente
M-L025-002-E-ME13	Motor con condensador de marcha	T:D2	Escuchar ruidos de rodamientos	26	10 min		Detector de ruidos	Técnico docente
		T:E3	Comprobar y ajustar conexiones en borneras	26	10 min		Multímetro	Técnico docente
		T:E4	Limpieza exterior del motor	26	10 min		Franela	Técnico docente
M-L025-002-E-ME17	Motor/Generador sincrónico	T:D2	Escuchar ruidos de rodamientos	26	10 min		Detector de ruidos	Técnico docente
		T:E3	Comprobar y ajustar conexiones en borneras	26	10 min		Multímetro	Técnico docente
		T:E4	Limpieza exterior del motor	26	10 min		Franela	Técnico docente

**Tabla 8-4 (Continuación):** Tareas de mantenimiento para equipos con modelo de mantenimiento condicional.

M-L025-002-E-ME25	Motor/Generador de CC	T:D2	Escuchar ruidos de rodamientos	26	10 min		Detector de ruidos	Técnico docente
		T:E3	Comprobar y ajustar conexiones en borneras	26	10 min		Multímetro	Técnico docente
		T:E4	Limpieza exterior del motor	26	10 min		Franela	Técnico docente
M-L025-002-E-ME21	Motor de inducción trifásico de rotor bobinado	T:D2	Escuchar ruidos de rodamientos	26	10 min		Detector de ruidos	Técnico docente
		T:E3	Comprobar y ajustar conexiones en borneras	26	10 min		Multímetro	Técnico docente
		T:E4	Limpieza exterior del motor	26	10 min		Franela	Técnico docente
<b>LABORATORIO DE ELECTRÓNICA DEL EDIFICIO M27</b>								
M-L020-002-L-OS01	Osciloscopio 1 del Laboratorio de Electrónica	T:C1	Inspección del estado y limpieza del equipo	26	10 min		Franela	Técnico docente
		T:E1	Pruebas de funcionamiento del equipo	26	5 min		Multímetro	Técnico docente

**Elaborado por:** Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

**Tabla 9-4:** Tareas de mantenimiento para equipos con modelo de mantenimiento sistemático.

CÓDIGO DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	CÓDIGO TAREA DE MITO	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	TIEMPO DE EJECUCIÓN	MATERIALES	HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	MANO DE OBRA
<b>LABORATORIO DE ELECTRICIDAD I DEL EDIFICIO M27</b>								
M-L015-002-E-MA01	Módulo de alimentación 1 del Laboratorio de Electricidad I	T:C1	Verificación del correcto funcionamiento (medición de voltaje, corriente)	12	15 min		Multímetro	Técnico docente
		T:C2	Inspección del estado de la fuente de alimentación (switch, fusibles, puente rectificador)	26	15 min			Técnico docente
		T: E1	Limpieza exterior y ajustes generales sistemáticos	26	20 min	Mascarilla	Caja de herramientas, brocha, franela	Técnico docente

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

### 4.3 Resultados de la programación del software de mantenimiento.

Con la programación realizada en el sistema, con el ingreso del inventario técnico jerárquico y la programación de las actividades de mantenimiento se puede verificar la planificación de mantenimiento para la infraestructura civil y para la maquinaria y equipos de laboratorio.

4.3.1 *Diseño de rutinas de mantenimiento.* La elaboración de las rutinas de mantenimiento se realizó dependiendo de las actividades de mantenimiento que se han asignado a los equipos y su frecuencia. Se desarrolló rutinas de mantenimiento cíclicas y de servicio con la finalidad de facilitar la planificación de la ejecución de actividades de mantenimiento tanto en la infraestructura como en los laboratorios.

4.3.1.1 *Rutinas cíclicas.* La aplicación de esta clase de rutinas fue necesaria para la ejecución del mantenimiento en la infraestructura civil para la cual se fijaron rutinas de inspección civil y eléctricas tanto semestrales como anuales:

- Rutina cíclica de inspección eléctrica de las 26 semanas.
- Rutina cíclica de inspección eléctrica de las 52 semanas.
- Rutina cíclica de inspección civil de las 26 semanas.

La rutina de inspección eléctrica comprende todos los equipos codificados dentro de la familia eléctrica siendo el mismo caso para la rutina de inspección civil donde se consideran las siguientes actividades de mantenimiento con su respectiva frecuencia (ver **Tabla 10-4**).

**Tabla 10-4:** Equipos y actividades de mantenimiento incluidas en las rutinas cíclicas.

DESCRIPCIÓN	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA (semanas)
Laboratorios, oficinas, aulas, bodegas,	Inspección del estado de paredes, puertas, ventanas, piso y cielo raso	26
Iluminación	Inspección del estado de las lámparas	26
Interruptores	Inspección del correcto funcionamiento del interruptor	26
Tomacorrientes	Verificación del correcto funcionamiento del tomacorriente (Medición con multímetro o lámpara piloto)	26
Extintor	Inspección del estado de la carga del extintor	26
Pulsador	Verificación del correcto funcionamiento del pulsador	26
Lámpara de emergencia	Pruebas de funcionamiento de la lámpara de emergencia	26

**Tabla 10-4 (Continuación):** Equipos y actividades de mantenimiento incluidas en las rutinas cíclicas.

Ductos de ventilación	Limpieza de ductos de ventilación	26
Sensor de humo	Pruebas de funcionamiento del sensor de humo	26
Sensor de movimiento	Pruebas de funcionamiento del sensor de movimiento	26
Centro de carga	Inspección del estado del centro de carga del edificio	52
Caja de accionamiento	Inspección del estado de la caja de accionamiento	52
Tablero eléctrico	Inspección del estado del tablero eléctrico	52
S.S.H.H	Inspección del estado de paredes, puertas, ventanas, piso, cielo raso e instalaciones hidrosanitarias	26
Cubierta	Inspección del estado de la cubierta y base estructural	26
Canaletas agua	Limpieza de las canaletas de agua	26
Hall	Inspección del estado de paredes, puertas, ventanas, piso y cielo raso	26
Cisterna	Inspección del estado de paredes, piso y tapa de la cisterna	52
Mezanine	Inspección del estado de estructura de mezanine	26
Ventiladores	Inspección del estado del ventilador	26
Gradas	Inspección del estado de piso, paredes y pasamanos	26
Cámaras de vigilancia	Verificación del funcionamiento de las cámaras de vigilancia	26

**Elaborado por:** Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018

Tomando en cuenta que la última fecha de ejecución de estas actividades de mantenimiento fue en mayo del 2018, se determina la planificación anual de las rutinas de mantenimiento programadas para el año 2018 y 2019 (ver Tabla 11-4).

**Tabla 11-4:** Cronograma de mantenimiento de las rutinas cíclicas programadas.

PLANIFICACIÓN ANUAL DEL MANTENIMIENTO DE LA FACULTAD DE MECÁNICA				2018		2019											
Rutina	Sub ruta	Frecuencia	Fecha prg. próxima	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Rutina de inspección eléctrica de las 26 semanas	SUB RUTA 1 M19_M17_M16	26S	6/11/2018	P						X						X	
	SUB RUTA 2 M25_M26_M47	26S	7/11/2018	P						X						X	
	SUB RUTA 3_M24_M11_M50	26S	8/11/2018	P						X						X	
	SUB RUTA 4_M49_M48_M06	26S	9/11/2018	P						X						X	
	SUB RUTA 5_M07_M27_M28	26S	12/11/2018	P						X						X	
	SUB RUTA 6_M30_M31_M32	26S	13/11/2018	P						X						X	
	SUB RUTA 7_M33_M51_M01	26S	14/11/2018	P						X						X	
	SUB RUTA 8_M8_M10	26S	15/11/2018	P						X						X	
	SUB RUTA 9_M09_M18	26S	16/11/2018	P						X						X	
Rutina de inspección de la infraestructura de las 26 semanas	SUB RUTA 1 M19_M17_M16	26S	6/11/2018	P						X						X	
	SUB RUTA 2 M25_M26_M47	26S	7/11/2018	P						X						X	
	SUB RUTA 3_M24_M11_M50	26S	8/11/2018	P						X						X	
	SUB RUTA 4_M49_M48_M06	26S	9/11/2018	P						X						X	
	SUB RUTA 5_M07_M27_M28	26S	12/11/2018	P						X						X	
	SUB RUTA 6_M30_M31_M32	26S	13/11/2018	P						X						X	
	SUB RUTA 7_M33_M51_M01	26S	14/11/2018	P						X						X	
	SUB RUTA 8_M8_M10	26S	15/11/2018	P						X						X	
	SUB RUTA 9_M09_M18	26S	16/11/2018	P						X						X	

**Tabla 11-4 (Continuación):** Cronograma de mantenimiento de las rutinas cíclicas programadas.

Rutina de inspección eléctrica de las 52 semanas	SUB RUTA 1 M19_M17_M16	52S	6/11/2018	P													X	
	SUB RUTA 2 M25_M26_M47	52S	7/11/2018	P													X	
	SUB RUTA 3_M24_M11_M50	52S	8/11/2018	P													X	
	SUB RUTA 4_M49_M48_M06	52S	9/11/2018	P													X	
	SUB RUTA 5_M07_M27_M28	52S	12/11/2018	P													X	
	SUB RUTA 6_M30_M31_M32	52S	13/11/2018	P													X	
	SUB RUTA 7_M33_M51_M01	52S	14/11/2018	P													X	
	SUB RUTA 8_M8_M10	52S	15/11/2018	P													X	
	SUB RUTA 9_M09_M18	52S	16/11/2018	P													X	

Elaborado por: Ruiz Harteman, Suárez Steven. 2018



Orden de trabajo

Descripción [Trabajo a ejecutar] # O.T. 6  
 Ventana rota Fecha 10/09/2018 12:36

Datos básicos | Datos adicionales | Programación | Costeo | Reporte | Estado

Cuenta contable 100 Mantenimiento de edificios Centro de costo Faculta de Mecánica -510

Destino M\_L045 Tipo OT DIR Directa

Solicita (Depto/Sección - Motivo [General/Específico])  
 DMDF Motivo de trabajo (G/E) IMP Imprevisto

Ejecuta (Depto/Sección - Proveedor) De servicio externo  
 Externa Proveedor sugerido

**Figura 6-4:** Orden de trabajo de SisMAC.

Fuente: Software SisMAC

Generada la orden de trabajo, esta deberá ser ejecutada y cerrada posteriormente donde quedará guardada en la base de datos del software. Esta orden de trabajo una vez que es emitida, queda registrada en la base de datos del sistema, lo que permite tener un documento de mantenimiento con información verídica acerca del activo, al cual se le realizará el trabajo de mantenimiento, recolectando información que posteriormente ayudará con una mejor gestión del mantenimiento.

Con este documento de mantenimiento, el DMDF contará con información que les permitirá tener un mejor registro de las actividades de mantenimiento y las tareas realizadas en los activos de la ESPOCH, teniendo información precisa como son, los tiempos de parada reales de los activos, el tiempo real el cual se demoró en realizar la actividad o actividades de mantenimiento y se registrará los procesos reales de las actividades de mantenimiento que se realicen en el activo.

Como resultado de la aplicación del software el DMDF tendrá un documento de mantenimiento genuino, un mejor manejo de la gestión de mantenimiento de la ESPOCH.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **Conclusiones.**

Se determinó el nivel de cumplimiento en la gestión de mantenimiento en el Departamento de Mantenimiento y Desarrollo Físico de la ESPOCH con un 55%, con posibilidades de mejorar de un 45%. Y en cada uno de los laboratorios y talleres que se evaluaron con un valor promedio de 8.54 %, con posibilidades de mejorar de un 91.46%.

Se elaboró el plan de mantenimiento para la infraestructura civil y equipos de laboratorio con su logística, aplicando la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad abreviado donde se determinó que, el 100 % de los equipos civiles recae en un modelo de mantenimiento básico, mientras que el 75.51 % de la maquinaria y equipos de laboratorio son equipos los cuales no se utilizan o están obsoletos, el 18,31 % de los equipos de laboratorio recaen en un modelo de mantenimiento básico, al 5.96 % se aplicó un modelo de mantenimiento condicional y un 0.2 % se consideró dentro de un modelo sistemático.

Se capacitó a Dirección de la Carrera de Ingeniería de Mantenimiento y al personal encargado de la Biblioteca de la Facultad en la emisión de solicitudes de trabajo al DMDF y a los encargados de los laboratorios en el manejo del plan de mantenimiento correspondiente que fue ingresado al sistema.

## **Recomendaciones.**

Los criterios y sub-criterios que se evaluaron, pueden servir de guía para la aplicación de los mismos en busca de mejorar la gestión de mantenimiento de edificios universitarios.

Considerar la codificación propuesta para la identificación de cada edificio en la Facultad de Mecánica y emplearlo en toda la institución; además, implementarla mediante la ubicación física de la codificación en cada edificación.

Establecer un departamento encargado de manejar el mantenimiento de maquinaria y equipos de laboratorio de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Considerar la aplicación de un sistema de mantenimiento asistido por computador para toda la institución, para llevar un control y calcular indicadores de mantenimiento.

## BIBLIOGRAFIA

**SEXTO, Luis Felipe; et al.**, s.l.; *¿Cómo determinar la frecuencia de mantenimiento?. Seis criterios técnicos de decisión*. Comité editorial, Marzo-Abril de 2017, Mantenimiento en Latinoamérica. La revista para la Gestión Confiable de los Activos, Vol. 9, pp. 46. 2357-6340.

**AZNAR, Bellver Jerónimo & GUIJARRO, Martínez Francisco.** *Nuevos Métodos de Valoración. Modelos multicriterios. 2da edición*. Valencia : Universitat Politècnica de València, 2012. 978-84-8363-982-5.

**BOTERO, Camilo.** *Manual de Mantenimiento*. Santa Fé de Bogotá: SENA Digeneral, 1991.

**CRESPO, Márquez Adolfo & PARRA Márquez, Carlos Alberto.** *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos*. Sevilla: INGEMAN, 2012. 978-84-95499-67-7.

**DOUMPOS, Michael & ZOPOUNIDIS, Constantin.** *Multicriteria Decision Aid Classification Methods*. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 2002. 9781402008054.

**GARCÍA, Garrido Santiago.** *Organización y Gestión Integral de Mantenimiento*. Madrid : Ediciones Díaz de Santos S.A., 2003. ISBN: 84-7978-548-9.

**HARO, Capelo Johana Nataly.** Implementación de un plan de mantenimiento para los laboratorios de las Áreas Eléctricas y del laboratorio de Mantenimiento Predictivo de la Facultad de Mecánica mediante el software SisMAC. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) DSpace ESPOCH 29 de Noviembre de 2016. [Consulta: martes 14 de noviembre de 2017.] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5901>.

**ISHIZAKA, Alessio & NEMERY, Philippe.** *Multi-Criteria Decision Analysis. Methods and Software*. New Delhi, India : John Wiley & Sons, Incorporated, 2013. 978-1-119-97407-9.

**JUAN ESCRIVÁ, Laura.** RiuNet. Repositorio Institucional UPV. *Aplicación del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) en el dimensionamiento de sistemas renovables*. [En línea] 03 de Noviembre de 2016. [Consulta: 19 de diciembre de 2017.] Disponible en: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/73178/21004036\\_TFG\\_14683619461433974905392726327662.pdf?sequence=3](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/73178/21004036_TFG_14683619461433974905392726327662.pdf?sequence=3).

**SOTO, Francia Celis.** *La Gestión de Recursos Humanos*. Caracas : Laurus. Revista de Educación, 2006, Vol. 12. 1315-883X.

**MEDRANO Márquez, José Á., et al.** *Mantenimiento: técnicas y aplicaciones industriales*. 1ra edición. Ciudad de México : Grupo editorial Patria, 2017. pp. 290. 978-607-744-709-2. pp. 14 -18.

**MOUBRAY, John.** *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.* Madrid : Aladon Ltd, 2004. 09539603-2-3.

**NTE INEN-EN, 60300-3-14.** Gestión de la Confiabilidad. Parte 3-14: Guía de aplicación. Mantenimiento y Logística de Mantenimiento.

**OSORIO, Juan & OREJUELA, Juan.** Sistema de Información Científica. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. [En línea] Septiembre de 2008. [Consultado: 19 de diciembre de 2017.] <http://www.redalyc.org/html/849/84920503044/>. 0122-1701.

**VIZCAÍNO, Mayra; et al.** *Priorización de criterios para la evaluación de la gestión del mantenimiento en edificios multifamiliares.* Cuenca : Arquitectura y Urbanismo, 2017, Vol. XXXVIII. 1815-5898.

**SAATY, Thomas L.** *The Analytic Hierarchy Process.* New York: McGraw-Hill, 1980. 13:9780070543713.

**SAE-JA1012.** *Una Guía para la Norma de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC).*

**TAOUFIKALLAH, Abdessamad.** e- READING. Trabajos y proyectos fin de estudios de la E.T.S.I. *selección del sistema de gestión de la producción mediante la metodología AHP.* Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70496/>.

**Toskano, Hurtado Gérard Bruno.** El Proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores : aplicación en la selección del proveedor para la Empresa Gráfica Comercial MyE S.R.L.. [http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/monografias/Basic/toskano\\_hg/toskano\\_hg.htm](http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/monografias/Basic/toskano_hg/toskano_hg.htm). [En línea] (Trabajo de Titulación) (Pregrado) Tesis Digitales Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú 2005. Disponible en: [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Basic/toskano\\_hg/cap3.PDF](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Basic/toskano_hg/cap3.PDF).

**UNE-EN13306.** *Mantenimiento. Terminología de mantenimiento.*