



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

**“ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA
LABORATORIOS, CENTRO DE CÓMPUTO Y TALLER CAD-CAM DE
LA FACULTAD DE MECÁNICA APLICANDO LA METODOLOGÍA DE
MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD”**

ALTAMIRANO MARTÍNEZ ANTONIO DARÍO

TUTASIG CORTEZ JONATAN MEDARDO

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTO TÉCNICO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

Riobamba – Ecuador

2019

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2018-04-25

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

ALTAMIRANO MARTÍNEZ ANTONIO DARÍO

Titulada: **“ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LABORATORIOS, CENTRO DE CÓMPUTO Y TALLER CAD-CAM DE LA FACULTAD DE MECÁNICA APLICANDO LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD”**

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

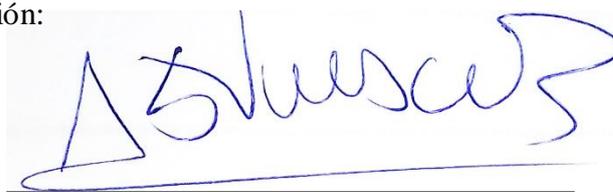
INGENIERO DE MANTENIMIENTO



Ing. Carlos José Santillán Mariño

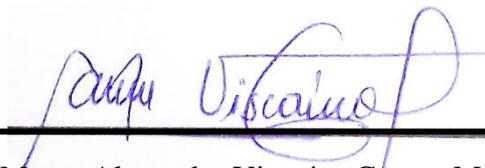
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:



Ing. Sergio Raúl Villacrés Parra; Mgs.

DIRECTOR DE TESIS



Ing. Mayra Alexandra Viscaino Cuzco; Mgs.

MIEMBRO DE TESIS

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2018-04-25

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

TUTASIG CORTEZ JONATAN MEDARDO

Titulada: **“ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LABORATORIOS, CENTRO DE CÓMPUTO Y TALLER CAD-CAM DE LA FACULTAD DE MECÁNICA APLICANDO LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD”**

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

INGENIERO DE MANTENIMIENTO



Ing. Carlos José Santillán Mariño

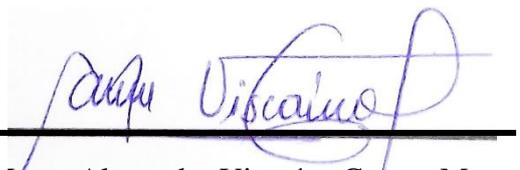
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:



Ing. Sergio Raúl Villacrés Parra; Mgs.

DIRECTOR DE TESIS



Ing. Mayra Alexandra Viscaino Cuzco; Mgs.

MIEMBRO DE TESIS

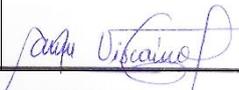
EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRES DE LOS ESTUDIANTES: ALTAMIRANO MARTÍNEZ ANTONIO DARÍO

TÍTULO DE LA TESIS: “ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LABORATORIOS, CENTRO DE CÓMPUTO Y TALLER CAD-CAM DE LA FACULTAD DE MECÁNICA APLICANDO LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD”

Fecha de Examinación: 2019-04-02

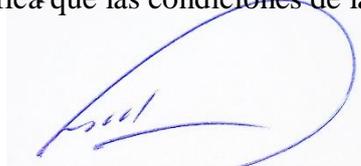
RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Dr. Marco Antonio Haro Medina PRESIDENTE TRIB. DEFENSA	✓		
Ing. Sergio Raúl Villacrés Parra DIRECTOR DE TESIS	✓		
Ing. Mayra Alexandra Viscaíno Cuzco MIEMBRO DE TESIS	✓		

* 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.



Dr. Marco Antonio Haro Medina
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

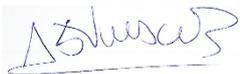
EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRES DE LOS ESTUDIANTES: TUTASIG CORTEZ JONATAN MEDARDO

TÍTULO DE LA TESIS: “ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LABORATORIOS, CENTRO DE CÓMPUTO Y TALLER CAD-CAM DE LA FACULTAD DE MECÁNICA APLICANDO LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD”

Fecha de Examinación: 2019-04-02

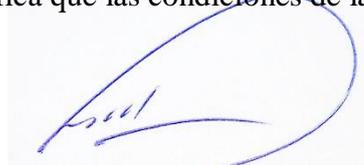
RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Dr. Marco Antonio Haro Medina PRESIDENTE TRIB. DEFENSA	✓		
Ing. Sergio Raúl Villacrés Parra DIRECTOR DE TESIS	✓		
Ing. Mayra Alexandra Viscaíno Cuzco MIEMBRO DE TESIS	✓		

* 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.



Dr. Marco Antonio Haro Medina
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

El presente trabajo de titulación se lo elaboró basado en el proceso de investigación tecnológica, establecida en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Por ende, los fundamentos teóricos, científicos, así como los resultados son de exclusiva responsabilidad nuestra como autores. Adjudicando el patrimonio intelectual a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



Altamirano Martínez Antonio Darío

Cedula de identidad: 180412295-8



Tutasig Cortez Jonatan Medardo

Cedula de identidad: 050325661-2

DEDICATORIA

Este presente trabajo se lo dedico a mis padres, pues sin ellos, sin su apoyo incondicional, económico y motivacional, no hubiere llegado a culminar y ser un profesional.

A mis amigos y familiares quienes me incentivaron con sus palabras de aliento y no desmayar en los estudios.

A todos mis maestros quienes me inculcaron la investigación, autoeducación y compartieron sus conocimientos.

Y finalmente dedico este trabajo a las generaciones venideras de nuestra querida Carrera de Mantenimiento Industrial para que puedan nutrirse, ayudarse y mejor cada vez más su aprendizaje.

Antonio Darío Altamirano Martínez.

El presente trabajo de titulación se lo dedico a mis queridos padres Medardo y Miguela por el apoyo incondicional brindado en estos años de estudio ya que ellos son mis pilares fundamentales.

A mis hermanos que nunca dejaron de creer en mí, y me incentivaron para llegar a cumplir uno de mis sueños, ser un profesional.

Y a mi familia y amigos que siempre creyeron en mí.

Jonatan Medardo Tutasig Cortez

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar un profundo agradecimiento a Dios, por regalarme un día más de vida y con ella poder dejar sentado el agradecimiento a mis padres, familiares, amigos, maestros y quienes de una u otra manera me desean éxitos, pues cada uno ha dejado una enseñanza, palabras y frases de apoyo, motivación, valores, experiencias, anécdotas alegres y otras no tanto, a todos ellos decirles gracias y un Dios le pague.

Antonio Darío Altamirano Martínez.

Un agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y en especial a mi querida Carrera de Mantenimiento Industrial por los conocimientos adquiridos en estos años de estudio ya que fueron de mucha ayuda para culminar este trabajo.

A mis maestros y compañeros por ayudarme a culminar una etapa muy importante de mi vida.

Jonatan Medardo Tutasig Cortez

ÍNDICE

CONTENIDO

pág.

Resumen

Abstract

Introducción

CAPÍTULO I

1.	MARCO REFERENCIAL	1
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación.....	2
1.3	Objetivos	3
1.3.1	<i>Objetivo general.....</i>	<i>3</i>
1.3.2	<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>3</i>

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO	4
2.1	Introducción.....	4
2.1.1	<i>Qué es mantenimiento</i>	<i>4</i>
2.1.2	<i>Clasificación del mantenimiento según la UNE EN 13306.....</i>	<i>4</i>
2.1.3	<i>Mantenimiento preventivo.</i>	<i>5</i>
2.1.4	<i>Fases del mantenimiento preventivo.....</i>	<i>5</i>
2.1.5	<i>Terminología de mantenimiento a emplearse.....</i>	<i>5</i>
2.1.5.1	<i>Activo físico.....</i>	<i>5</i>
2.1.5.2	<i>Estado operativo.</i>	<i>5</i>
2.1.5.3	<i>Mantenimiento de rutina.....</i>	<i>5</i>
2.1.5.4	<i>Preparación de las tareas de mantenimiento.</i>	<i>5</i>
2.1.5.5	<i>Programa de mantenimiento.....</i>	<i>6</i>

2.1.5.6	<i>Gestión del mantenimiento</i>	6
2.1.5.7	<i>Estrategias del mantenimiento</i>	6
2.1.5.8	<i>Plan de mantenimiento</i>	6
2.1.6	<i>¿Por qué gestionar el mantenimiento?</i>	6
2.2	Evaluación cuantitativa de la gestión del mantenimiento mediante el AHP.....	7
2.2.1	<i>Definición y características de Analytic Hierarchy Process (AHP)</i>	7
2.2.2	<i>Fundamentos teóricos del AHP</i>	7
2.2.3	<i>Ventajas del método AHP</i>	8
2.2.4	<i>Desventajas del método AHP</i>	8
2.2.5	<i>El proceso de análisis jerárquico propone ejecutar los siguientes pasos:</i> ...	8
2.2.6	<i>Fases para el desarrollo del instrumento para la evaluación de gestión</i> ...11	
2.2.6.1	<i>Determinación de los criterios de evaluación.</i>	11
2.2.6.2	<i>Priorización de criterios aplicando el método AHP.</i>	12
2.2.6.3	<i>Desarrollo del instrumento para la evaluación</i>	14
2.3	Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).....	15
2.3.1	<i>Proceso del RCM</i>	15
2.3.2	<i>¿Qué se logra con el RCM?</i>	15
2.3.3	<i>Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) Abreviado</i>	16
2.3.4	<i>Proceso para aplicar el RCM “Abreviado”</i>	16
2.3.4.1	<i>Listado de equipos</i>	19
2.3.4.2	<i>Codificación</i>	19
2.3.4.3	<i>Análisis de criticidad</i>	21
2.3.4.4	<i>Selección del modelo de mantenimiento</i>	25
2.3.4.5	<i>Ficha de un equipo.</i>	26
2.3.4.6	<i>Análisis de los modos y efectos de fallo.</i>	29
2.3.4.7	<i>Determinación de medidas preventivas</i>	30
2.3.4.8	<i>Asignación de la frecuencia y configuración de tareas.</i>	33
2.3.4.9	<i>Plan de mantenimiento basado en RCM</i>	34
2.4	Capacitación	35

CAPÍTULO III

3.	DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO	39
3.1	Evaluación de la gestión del mantenimiento	39

3.1.1	<i>Determinación de los criterios de evaluación.</i>	39
3.1.1.1	<i>Modelación.</i>	42
3.1.1.2	<i>Valoración</i>	43
3.1.2	<i>Determinación de las ponderaciones de los criterios</i>	46
3.1.3	<i>Reciprocidad de la matriz de comparación pareada</i>	50
3.1.4	<i>Homogeneidad de la matriz de comparación pareada</i>	50
3.1.5	<i>Consistencia de la matriz de comparación pareada</i>	51
3.1.6	<i>Priorización de criterios aplicando el método AHP</i>	56
3.1.7	<i>Determinación de ponderaciones de subcriterios</i>	58
3.1.8	<i>Evaluación de la planificación de mantenimiento</i>	60
3.1.9	<i>Aplicación del instrumento de evaluación de la gestión de mantenimiento</i>	60
3.2	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.	75
3.2.1	<i>Aplicación de la metodología de mantenimiento RCM “abreviado”</i>	75
3.2.1.1	<i>Inventario técnico</i>	75
3.2.1.2	<i>Codificación de la infraestructura civil</i>	77
3.2.1.3	<i>Codificación para los laboratorios.</i>	81
3.2.1.4	<i>Fichas de los equipos.</i>	84
3.2.1.5	<i>Análisis de criticidad de los equipos civiles.</i>	86
3.2.1.6	<i>Análisis de criticidad de los equipos de talleres y laboratorios</i>	90
3.2.1.7	<i>Selección del modelo de mantenimiento</i>	92
3.2.1.8	<i>Análisis de modos y efectos de fallo</i>	95
3.2.1.9	<i>Plan de mantenimiento basado en RCM</i>	98
3.3	Capacitación del personal técnico encargado.	101
3.4	Implementación del sistema de gestión de mantenimiento (GMAO)	102
3.4.1	<i>Implementación del Software SisMAC</i>	103
3.4.1.1	<i>Ingreso al sistema SisMAC.</i>	103
3.4.1.2	<i>Generación de solicitudes de trabajo</i>	108
3.5	CONCLUSIONES	110
3.6	RECOMENDACIONES	111

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

CONTENIDO

	pág.
Figura 2-1 Mantenimiento resumen general.....	4
Figura 2-2 Pasos para la aplicación de la metodología AHP	9
Figura 2-3 Fases para la aplicación de la metodología (AHP)	11
Figura 2-4 Estructura del listado de equipos	13
Figura 2-5 Estructura jerárquica de los criterios.....	13
Figura 2-6 Matriz de prioridades	14
Figura 2-7 Instrumento para evaluación de la gestión de mantenimiento.....	17
Figura 2-8 Proceso de aplicación del RCM.....	18
Figura 2-9 Estructura del listado de equipos y su equivalencia.....	19
Figura 2-10 Estructura del código de mantenimiento.	20
Figura 2-11 Flujograma para el análisis de criticidad cualitativo área civil.....	23
Figura 2-12 Matriz de criticidad para equipos de talleres y laboratorios	24
Figura 2-13 Flujograma para el análisis de criticidad cualitativo	25
Figura 2-14 Flujograma para la selección del modelo de mantenimiento.....	26
Figura 2-15 Modelo de ficha técnica para equipos de laboratorios y talleres	27
Figura 2-16 Modelo de ficha técnica para equipos civiles	28
Figura 2-17 Determinación de medidas preventivas para evitar el fallo.....	32
Figura 2-18 Formato de registro de tareas.....	34
Figura 2-19 Modelo del plan de mantenimiento.....	35
Figura 2-20 Formato de solicitud de trabajo.....	37
Figura 2-21 Formato de orden de trabajo	38
Figura 3-1 Criterios y subcriterios de mantenimiento de edificaciones y equipos	42
Figura 3-2 Instrumento para la valoración de criterios.	47
Figura 3-3 Matriz de comparación pareada de subcriterios	48
Figura 3-4 Matriz de comparación pareada de subcriterios de recursos humanos	48
Figura 3-5 Ejemplo de matriz de comparación pareada.....	49

Figura 3-6	Propiedad de reciprocidad de la matriz de comparación pareada.....	50
Figura 3-7	Propiedad de homogeneidad de la matriz de comparación pareada	50
Figura 3-8	Matriz de comparación pareada	51
Figura 3-9	Matriz normalizada	51
Figura 3-10	Matriz promedio.....	52
Figura 3-11	Vector fila total	52
Figura 3-12	Vector cociente	52
Figura 3-13	Ratios de consistencia de los encuestados.....	53
Figura 3-14	Vector propio de una matriz de comparación pareada	55
Figura 3-15	Instrumento de evaluación para edificaciones y equipos	61
Figura 3-16	Laboratorios a evaluar	63
Figura 3-17	Estructura del listado de equipos área civil	76
Figura 3-18	Estructura del listado de equipos de laboratorio	76
Figura 3-19	Matriz de criticidad para equipos de talleres y laboratorios	90
Figura 3-20	Flujograma para la selección del modelo de mantenimiento.....	92
Figura 3-21	Ventana para ingreso de credenciales institucionales	103
Figura 3-22	Ingreso de credenciales personales	104
Figura 3-23	Ventana principal del SisMAC.	105
Figura 3-24	Partes básicas de la ventana principal de SisMAC	105
Figura 3-25	Lista de módulos y submódulos.....	106
Figura 3-26	Visualización del laboratorio ML160 hasta el nivel de equipos.....	107
Figura 3-27	Herramientas para la visualización de información existente.	107
Figura 3-28	Íconos para editar, nuevo, eliminar y copiar.....	108
Figura 3-29	Usuario con permiso solo a la generación de solicitudes de trabajo	108
Figura 3-30	Pantalla de rellenar datos de solicitud de trabajo	109
Figura 3-31	Estado de la solicitud de trabajo	110

ÍNDICE DE TABLAS

CONTENIDO

	pág.
Tabla 2-1 Valoración de los juicios.....	9
Tabla 2-2 Valores de RI para matrices de diferentes órdenes	10
Tabla 2-3 Porcentajes máximos de inconsistencia.....	10
Tabla 2-4 Requerimientos y criterios de evaluación de gestión del mantenimiento.....	12
Tabla 2-5 Matriz de comparación pareada	14
Tabla 2-6 Código de clave catastral del edificio de la carrera de Ingeniería Mecánica .	20
Tabla 2-7 Codificación propuesta para mantenimiento para los dos primeros niveles. .	20
Tabla 2-8 Matriz para valorar la criticidad de un equipo	22
Tabla 2-9 Ejemplo de hoja del análisis de modos y efectos de fallo.....	30
Tabla 2-10 Agrupación de tareas por modelo de mantenimiento	31
Tabla 2-11 Cronograma de frecuencia y fechas de inicio de mantenimiento.....	34
Tabla 3-1 Criterios de evaluación para equipos y edificios.....	39
Tabla 3-2 Información de los encuestados especialistas docentes.....	43
Tabla 3-3 Información de los encuestados especialistas, expertos en mantenimiento...	45
Tabla 3-4 Información de los encuestados de mantenimiento.....	45
Tabla 3-5 Resultado de ponderación de criterios.....	54
Tabla 3-6 Priorización de criterios de mantenimiento de edificios.....	57
Tabla 3-7 Criterios y subcriterios de jerarquización.	59
Tabla 3-8 Nivel de desempeño de la gestión de mantenimiento en el (DMDF).....	62
Tabla 3-9 Valoración y nivel exigido de la gestión de mantenimiento (DMDF)	62
Tabla 3-10 Valoración de cada requerimiento y nivel exigido del laboratorio ML160.	64
Tabla 3-11 Valoración de requerimientos y nivel exigido del laboratorio ML165.	64
Tabla 3-12 Valoración de requerimientos y nivel exigido del laboratorio ML170.	65
Tabla 3-13 Valoración de requerimientos y nivel exigido del laboratorio ML175.	66
Tabla 3-14 Valoración de requerimiento y nivel exigido del laboratorio ML180.	66
Tabla 3-15 Valoración de requerimiento y nivel exigido del laboratorio ML185.	67
Tabla 3-16 Valoración de cada requerimiento y nivel exigido del laboratorio ML160.	68

Tabla 3-17	Valoración de cada requerimiento y nivel exigido del laboratorio ML165.	69
Tabla 3-18	Valoración de cada requerimiento y nivel exigido del laboratorio ML170.	70
Tabla 3-19	Valoración de cada requerimiento y nivel exigido del laboratorio ML175.	71
Tabla 3-20	Valoración de cada requerimientos y nivel exigido del ML180.	72
Tabla 3-21	Valoración de cada requerimiento y nivel exigido del laboratorio ML185.	73
Tabla 3-22	Resumen del nivel de gestión en los laboratorios.....	74
Tabla 3-23	Acciones de mejora para los laboratorios	74
Tabla 3-24	Codificación de la infraestructura civil para el nivel de área.	77
Tabla 3-25	Codificación de áreas.	77
Tabla 3-26	Listado de edificios y sistemas codificados	77
Tabla 3-27	Familia de equipos civiles.....	80
Tabla 3-28	Codificación del M-11-002 centro de cómputo 1.....	80
Tabla 3-29	Codificación para los laboratorios y talleres.	81
Tabla 3-30	Codificación de los sistemas existentes en el ML160.	82
Tabla 3-31	Codificación de los equipos de cada sistema del ML160	82
Tabla 3-32	Ficha técnica de laboratorios	85
Tabla 3-33	Ficha técnica área civil edificio M 33 008	85
Tabla 3-34	Criticidad GIEBI grupos de investigación y estudios en bio ingeniería	87
Tabla 3-35	Análisis criticidad M25: Bloque de aulas carrera de ingeniería mecánica ..	88
Tabla 3-36	Análisis de criticidad equipos laboratorio ML160.	91
Tabla 3-37	Modelo de mantenimiento bloque de aulas carrera de ingeniería mecánica	93
Tabla 3-38	Modelo de mantenimiento para el laboratorio ML160	94
Tabla 3-39	Asignación de la frecuencia de mantenimiento para los equipos.....	95
Tabla 3-40	Análisis RCM abreviado equipos civiles.	96
Tabla 3-41	Análisis RCM abreviado de equipos de laboratorio.	97
Tabla 3-42	Parte del plan de mantenimiento para la infraestructura civil del M11	99
Tabla 3-43	Parte del plan de mantenimiento del laboratorio ML160	100
Tabla 3-44	Datos generales.....	101
Tabla 3-45	Cronograma de capacitación para personal técnico de los laboratorios	102

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 3-1 Grupo de especialistas	43
Gráfico 3-2 Criterios priorizados	56
Gráfico 3-3 Comparación de priorización de criterios	58
Gráfico 3-4 Nivel de desempeño de la gestión de mantenimiento (DMDF)	62
Gráfico 3-5 Nivel de cumplimiento de la gestión de mantenimiento (DMDF)	63
Gráfico 3-6 Desempeño de la gestión de mantenimiento del laboratorio ML160	64
Gráfico 3-7 Desempeño de la gestión de mantenimiento del laboratorio ML165	65
Gráfico 3-8 Desempeño de la gestión de mantenimiento del laboratorio ML170	65
Gráfico 3-9 Desempeño de la gestión de mantenimiento del laboratorio ML175	66
Gráfico 3-10 Desempeño de la gestión de mantenimiento del laboratorio ML180	67
Gráfico 3-11 Desempeño de la gestión de mantenimiento del laboratorio ML185	67
Gráfico 3-12 Nivel de cumplimiento del laboratorio ML160.....	68
Gráfico 3-13 Nivel de cumplimiento del laboratorio ML165.....	69
Gráfico 3-14 Nivel de cumplimiento del laboratorio ML170.....	70
Gráfico 3-15 Nivel de cumplimiento del laboratorio ML175.....	71
Gráfico 3-16 Nivel de cumplimiento del laboratorio ML180.....	72
Gráfico 3-17 Nivel de cumplimiento del laboratorio ML185.....	73

LISTADO DE ABREVIATURAS

AHP	Proceso Analítico Jerárquico.
GIEBI	Grupos de Investigación y Estudios en Bio Ingeniería.
AMEF	Análisis de Modo y Efectos de Falla.
GMAO	Sistema de Mantenimiento Asistido por Ordenador.
SisMAC	Sistema de Mantenimiento Asistido por Computador.
RCM	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.
LBR	Lista Básica de Recambios.
DMDF	Departamento de Mantenimiento y Desarrollo Físico.

LISTA DE ANEXOS

- Anexo A.** Instrumento para la evaluación de la gestión de mantenimiento
- Anexo B.** Instrumento para evaluación de la gestión de mantenimiento de edificios universitarios (DMDF) y evaluación de los laboratorios.
- Anexo C.** Determinación de pesos de los criterios por grupo de encuestados
- Anexo D.** Codificación de edificios y laboratorios
- Anexo E.** Fichas técnicas para equipos de laboratorios y talleres.
- Anexo F.** Fichas técnicas área civil
- Anexo G.** Análisis de criticidad de los equipos civiles.
- Anexo H.** Análisis de criticidad de los equipos de laboratorio y talleres
- Anexo I.** Selección del modelo de mantenimiento de los edificios
- Anexo J.** Selección del modelo de mantenimiento de los laboratorios y talleres
- Anexo K.** Plan de mantenimiento infraestructura civil
- Anexo L.** Plan de mantenimiento equipos de laboratorio y talleres
- Anexo M.** Planificación de capacitación

RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el objetivo de desarrollar un plan de mantenimiento para los laboratorios de; mecánica de fluidos, resistencia de materiales, metrología, control automático e instrumentación, turbo maquinaria, taller CAD CAM, Asociación de estudiantes y edificaciones principales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la ESPOCH, utilizando la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad Abreviado. En primera instancia, se evaluó la gestión del mantenimiento utilizando la herramienta de evaluación desarrollada con la metodología AHP, se valoró el nivel de gestión del mantenimiento y desempeño del departamento del mantenimiento en la institución y a los laboratorios y talleres de la carrera, determinándose que los laboratorios alcanzaron un desempeño deficiente. En segunda instancia, se aplicó de la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad a 103 equipos civiles y a 72 equipos de laboratorios y talleres, de los cuales el 100 % de los equipos civiles presentan una criticidad de tipo prescindible, y les corresponde un modelo de mantenimiento básico. El 39 % de los equipos de laboratorios y talleres tienen una criticidad prescindible el 46 % tienen una criticidad de tipo importante y el 15 % una criticidad de tipo crítica y les corresponde un modelo de mantenimiento básico, condicional y sistemático respectivamente. Las estrategias indicadas anteriormente, se emplearon para el desarrollo del plan de mantenimiento. Finalmente se capacitó al personal de los laboratorios y talleres en el uso de la herramienta informática SisMac incluido el departamento a cargo del mantenimiento en la institución con una metodología pedagógica de tipo personalizada. En total se capacitó a cinco personas encargadas del mantenimiento en los laboratorios e infraestructura civil de la carrera, planificando un contenido y cronograma para cumplir con la capacitación al personal en el uso y manejo de la información.

PALABRAS CLAVES: <TECNOLOGÍA Y CIENCIA DE LA INGENIERÍA>, <INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO>, <PLAN DE MANTENIMIENTO>, <GESTIÓN DE MANTENIMIENTO>, <MÉTODO AHP>, <SISMAC (SOFTWARE)>, <RCM ABREVIADO>



ABSTRACT

The present work was carried out with the objective of developing a maintenance plan for laboratories of; Fluid mechanics, material resistance, metrology, automatic control and instrumentation, turbo machinery, CAD CAM workshop, ESPOCH Students Association, using the maintenance function Focused on Abbreviated Reliability. In the first instance, the maintenance management is evaluated, the evaluation tool is used, the management of the production management is developed, the level of maintenance management and the maintenance service management in the institution and the laboratories and career workshops, determining that the laboratories achieved an efficient performance. In second instance, the maintenance methodology was applied. Focused on the reliability of 103 civil equipment 72 laboratory and workshop equipment, 100% of the civil equipment and a critique of rescindible type, and those corresponding to a basic maintenance model. 39% of laboratory equipment and workshops have an important type of criticism and 15% criticism of critical type and corresponds to basic, conditional and systematic maintenance model respectively. The strategies indicated above will be used for the development of the maintenance plan. Finally, the personal capacity of the laboratories and workshops in the use of the computer tool was included. SisMac included the department in charge of the maintenance in the institution with a personalized pedagogical methodology. In total, five people in charge of maintenance in the laboratories and civil infrastructure of the career are trained, planning a content and schedule to comply with the personal training in the use and handling of the information.

KEYWORDS: <TECHNOLOGY SCIENCE OF ENGINEERING>, <MAINTENANCE IGNITION>, <MAINTENANCE PLAN>, < MAINTENANCE MANAGEMENT>, <METHOD AHP>, <SISMAC (SOFTWARE)>, <RCM ABREVIADO>.



INTRODUCCIÓN

Con la primera guerra mundial la demanda de productos se elevó y con ello la atención a las máquinas de producción pues debido a la gran demanda el régimen de trabajo de estas máquinas fue riguroso y como consecuencia un sin número de fallas cada vez mayores aparecieron dando lugar al concepto de mantenimiento correctivo y que se lo mantuvo hasta la década de los 30.

A nivel nacional el mantenimiento de equipos y maquinaria de diferentes industrias está evolucionando y muchas de las industrias intentan mitigar el mantenimiento correctivo de su infraestructura y mejorar el mantenimiento, es así que muchos buscan implementar el o las técnicas de mantenimiento que permitan mitigar el mantenimiento correctivo lo máximo posible y reducir el número de paradas por mantenimiento.

En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo no es la excepción que aún se trabaja con el mantenimiento a reacción o correctivo y en la parte civil no se considera el mantenimiento aun, es así que la elaboración de este trabajo permitirá evaluar la gestión del mantenimiento en la Carrera de Ingeniería Mecánica y contribuir al desarrollo de nuevas técnicas de mantenimiento en la institución.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes

Desde la inauguración de la Escuela de Ingeniería Mecánica el 3 de abril de 1973 su crecimiento tanto civil como recurso humano ha sido evidente, es así que gracias a las aportaciones de instituciones como el SECAP que en el año de 1984 entregó a la Facultad de Mecánica bancos de prácticas para las áreas eléctricas, los equipos, recurso humano e infraestructura están incrementándose continuamente en la institución.

Para continuar con el progreso, crecimiento e innovación de la Facultad, gracias a la gestión de las autoridades regentes, el 24 de noviembre 2015 se realizó la entrega de una maquinaria especial denominada “Fresadora CNC ROMI D600” y un kit de herramientas para que los estudiantes de la Facultad y de la Politécnica puedan desarrollar sus prácticas, investigaciones y generar productos innovadores como brazos robóticas, cabezotes, piñones, piezas de motores e inclusive se podría realizar esculturas de personas.

Así también el aporte de los trabajos de titulación de los estudiantes en el ámbito del mantenimiento asegura la conservación y el buen funcionamiento de los equipos, herramientas e infraestructura.

En el año 2014 se realizó el trabajo de titulación, “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA LOS LABORATORIOS DE RESISTENCIA DE MATERIALES, METALOGRAFÍA, ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”, donde se encontró información técnica, de los equipos y herramientas existentes en dichos laboratorios.

En el año 2015 se realizó el trabajo de titulación, “IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LOS LABORATORIOS DE FLUIDOS, INSTRUMENTACIÓN Y TURBO MAQUINARIA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA MEDIANTE EL SOFTWARE SISMAC”, en el cual se encontró planes de

mantenimiento automatizados, dando recuento que la gestión de mantenimiento va por buen camino.

1.2 Justificación

Este proyecto está enfocado en la elaboración de un plan de mantenimiento para los laboratorios, centro de cómputo, asociación y taller CAD CAM de la Escuela de Ingeniería Mecánica utilizando la metodología de “Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) abreviado” para mejorar la gestión del mantenimiento, para lo cual se aprovechará los recursos, humanos, documentación y asesoría con los que se cuenta en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Uno de los objetivos de realizar el “Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) abreviado” es aumentar la disponibilidad en los equipos con los menores costos y en tiempos cortos, ahí la necesidad de implementar esta metodología en los laboratorios que se describe en este documento.

Con la elaboración de este trabajo se obtendrá un plan de mantenimiento que cumpla con las necesidades de cada equipo ayudando a tener mayor disponibilidad, así también con la parte de la infraestructura civil de la carrera.

Se realizará un análisis de criticidad a los diferentes equipos de cada laboratorio con el cual se establecerá el grado de criticidad de cada equipo, para así poder realizar el plan de mantenimiento que supla las necesidades de cada activo para obtener un funcionamiento óptimo, atendiendo así también las necesidades del estudiante en su periodo de formación.

Beneficiando con este trabajo técnico a: La Dirección de Mantenimiento y Desarrollo Físico (DMDF), la Carrera de Ingeniería Mecánica y a sus estudiantes ya que así podrán realizar sus prácticas de laboratorio en mejores condiciones y con equipos con mayor disponibilidad.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general.

Elaborar un plan de mantenimiento para los Laboratorios, Centro de Cómputo, Asociación y Taller CAD CAM de la Facultad de Mecánica aplicando la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

1.3.2 Objetivos específicos

- ✓ Evaluar la gestión de mantenimiento en los Laboratorios, Centro de Cómputo, Asociación y Taller CAD CAM de la Facultad de Mecánica.
- ✓ Aplicar la metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad abreviado para la definición de tareas de mantenimiento preventivo y su logística.
- ✓ Capacitar al personal técnico encargado, en el uso del plan de mantenimiento.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción

2.1.1 Qué es mantenimiento

Según la norma UNE EN 13306, que trata sobre terminología de mantenimiento, lo define como las combinaciones 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. (UNE-EN-13306, 2010, pág. 6).

2.1.2 Clasificación del mantenimiento según la UNE EN 13306

En la **Figura 2-1**, se muestra la clasificación que hace la UNE EN 13306.

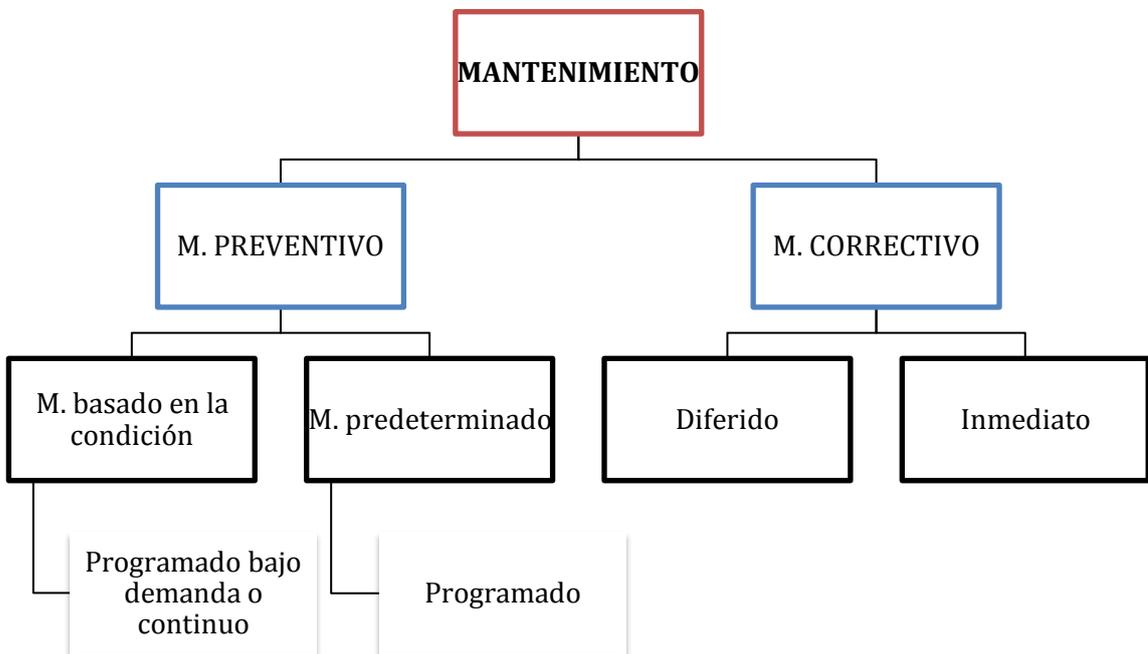


Figura 2-1 Mantenimiento resumen general

Fuente: (UNE-EN-13306, 2010, pág. 20)

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

2.1.3 *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. (UNE-EN-13306, 2010, pág. 13)

2.1.4 *Fases del mantenimiento preventivo.*

De acuerdo a (Narvaez G. & Zhigue Tene, 2015), para definir el mantenimiento preventivo, se deben seguir las siguientes fases:

- ✓ Inventarios técnicos, con manuales, planos característicos de cada equipo.
- ✓ Procedimientos técnicos, listados de trabajos a efectuarse periódicamente.
- ✓ Control de frecuencias, indicación exacta de la fecha a efectuarse el trabajo.
- ✓ Registro de operaciones, repuestos y costos que ayuden a planificar

Para el desarrollo de este trabajo, es necesario definir algunos términos importantes:

2.1.5 *Terminología de mantenimiento a emplearse.*

2.1.5.1 *Activo físico.*

Elemento contabilizable formalmente. (UNE-EN-13306, 2010, pág. 8)

2.1.5.2 *Estado operativo.*

Estado en que un elemento está funcionando según lo requerido. (UNE-EN-13306, 2010, pág. 12)

2.1.5.3 *Mantenimiento de rutina.*

Actividades de mantenimiento preventivo simples regulares o repetidas (UNE-EN-13306, 2010, pág. 15)

2.1.5.4 *Preparación de las tareas de mantenimiento.*

Suministro de toda la información necesaria e identificación de los recursos necesarios que permitan la realización de las tareas de mantenimiento. (UNE-EN-13306, 2010, pág. 16)

2.1.5.5 Programa de mantenimiento.

Plan preparado con antelación donde se detalla cuando se debería realizar una tarea de mantenimiento específica (UNE-EN-13306, 2010, pág. 16).

2.1.5.6 Gestión del mantenimiento

Son todas las actividades de la gestión que determinan los objetivos, las estrategias y las responsabilidades del mantenimiento y la implantación de dichas actividades por medios tales como la planificación del mantenimiento, el control del mismo y la mejora de las actividades de mantenimiento y las económicas (UNE-EN-13306, 2010, pág. 6).

2.1.5.7 Estrategias del mantenimiento

Son aquellos métodos de gestión que mediante su aplicación permiten alcanzar los objetivos del mantenimiento.

2.1.5.8 Plan de mantenimiento

El plan de mantenimiento engloba las actividades, los procedimientos, recursos, duración y responsables para realizar el mantenimiento de un activo con el fin de recuperar la función para el que fue creado.

2.1.6 ¿Por qué gestionar el mantenimiento?

¿No es más fácil y más barato acudir a reparar un equipo cuando se averíe y olvidarse de planes de mantenimiento, estudio de fallos, sistemas de organización, que incrementan notablemente la mano de obra indirecta? (García Garrido, 2003)

Según García Garrido, 2003, las razones por que gestionar el mantenimiento son:

- ✓ Porque la competencia obliga a rebajar costes.
- ✓ Porque han aparecido multitud de técnicas que es necesario analizar, para estudiar si su implantación supondría una mejora en los resultados de la empresa.
- ✓ Porque los departamentos necesitan estrategias, directrices a aplicar, que sean acordes con los objetivos planteados por la dirección.
- ✓ Porque la calidad, la seguridad, y las interrelaciones con el medio ambiente son aspectos que han tomado una extraordinaria importancia.

2.2 Evaluación cuantitativa de la gestión del mantenimiento mediante la metodología AHP

2.2.1 Definición y características de Analytic Hierarchy Process (AHP)

La metodología Analytic Hierarchy Process (AHP), en español Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ), fue desarrollado a finales de los 60 por Thomas Saaty, quien a partir de sus investigaciones en el campo militar y su experiencia docente formuló una herramienta sencilla para ayudar a las personas responsables de la toma de decisiones (Osorio Gomez & Orejuela Cabrera, 2008).

Su simplicidad y su poder han sido evidenciados en los cientos de aplicaciones en las cuales se han obtenido importantes resultados y en la actualidad, es la base de muchos paquetes de software diseñados para los procesos de toma de decisiones complejas. Además, ha sido adoptado por numerosas compañías para el soporte de los procesos de toma de decisiones complejas e importantes (Osorio Gomez & Orejuela Cabrera, 2008).

La metodología del AHP, se basa en la evaluación de distintos criterios con el fin de optimizar la toma de decisiones. Esta metodología se centra en resolver problemas en el cual se debe priorizar criterios y determinar mediante este método la opción más relevante o conveniente. Las decisiones al ser tomadas mediante este método pueden variar de simples decisiones hasta decisiones muy complejas. La metodología del AHP se la utiliza para resolver el problema planteado al inicio.

2.2.2 Fundamentos teóricos del AHP

La metodología AHP (Saaty, 1980) es una poderosa y flexible herramienta de toma de decisiones multicriterio, utilizada en problemas en los cuales necesitan evaluarse aspectos tanto cualitativos como cuantitativos. La técnica AHP ayuda a los analistas a organizar los aspectos críticos de un problema en una estructura jerárquica similar a la estructura de un árbol familiar, reduciendo las decisiones complejas a una serie de componentes que permiten la jerarquización de los diferentes aspectos (criterios) evaluados.

El AHP se fundamenta en (Toskano, 2005):

- ✓ La estructura del modelo jerárquico (representación del problema mediante identificación de meta, criterios, subcriterios y alternativas).
- ✓ Priorización de los elementos del modelo jerárquico.

- ✓ Comparación binaria entre elementos.
- ✓ Evaluación de los elementos mediante asignación de (pesos).
- ✓ Ranking de las alternativas de acuerdo con los pesos dados.
- ✓ Síntesis.
- ✓ Análisis de sensibilidad.

2.2.3 *Ventajas del método AHP*

De acuerdo al creador del método (Toskano, 2005), éste presenta las siguientes ventajas:

- ✓ Presentar un sustento matemático.
- ✓ Permitir desglosar y analizar un problema por partes.
- ✓ Permitir medir criterios cuantitativos y cualitativos mediante una escala común.
- ✓ Incluir la participación de diferentes personas o grupos de interés y generar un consenso.
- ✓ Permitir verificar el índice de consistencia y hacer las correcciones, si es del caso.
- ✓ Generar una síntesis y dar la posibilidad de realizar análisis de sensibilidad.
- ✓ Es de fácil uso y permitir que su solución se pueda complementar con métodos matemáticos de optimización.

2.2.4 *Desventajas del método AHP*

Si la estructura jerárquica del proceso de decisión se encuentra mal diseñada, o no se consideran factores importantes para la investigación, los pesos de los criterios pueden distorsionarse, causando errores en los resultados obtenidos. (Zanazzi, 2003)

2.2.5 *El proceso de análisis jerárquico propone ejecutar los siguientes pasos:*

En la **Figura 2-2**, se describe gráficamente el proceso para el análisis jerárquico.

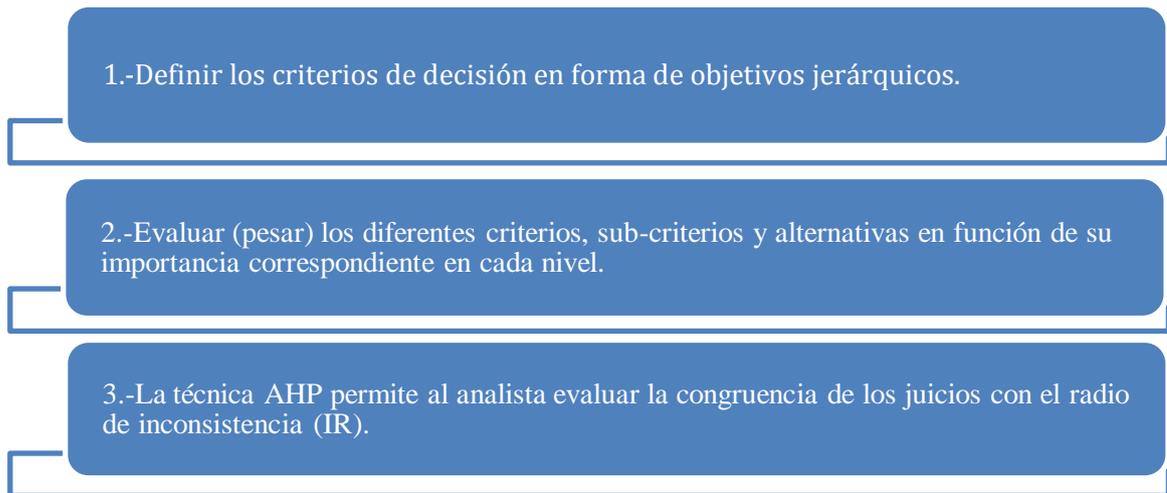


Figura 2-2 Pasos para la aplicación de la metodología AHP

Fuente: (Saaty, 1980)

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

1. **Definir los criterios de decisión en forma de objetivos jerárquicos.** La jerarquización se estructura en diferentes niveles: iniciándose en el tope con la definición del objetivo principal del proceso de jerarquización, luego se definen los niveles intermedios (criterios y subcriterios a evaluar) y finalmente, en el nivel más bajo se describen las alternativas a ser comparadas.

2. **Evaluar (pesar) los diferentes criterios, subcriterios y alternativas en función de su importancia correspondiente en cada nivel.** Criterios cualitativos y cuantitativos pueden ser comparados usando juicios informales para obtener los pesos y las prioridades. Para criterios cualitativos, la técnica AHP utiliza simples comparaciones para determinar los pesos y evaluarlos. De esta forma el analista puede concentrarse en sólo dos criterios al mismo tiempo. De hecho, la técnica AHP está basada en la suposición de que el analista (decisor) puede de forma más fácil elegir un valor de comparación que un valor absoluto. Los juicios verbales son trasladados a una escala de puntuación (ver **Tabla 2-1**).

Tabla 2-1 Valoración de los juicios

Juicios	Igual		Moderado		Fuerte		Muy Fuerte		Extremo
Puntuación (Score)	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Fuente: (Saaty, 1980)

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Posteriormente, en una matriz de juicios, un vector de prioridad es calculado y usado para pesar (comparar) los elementos de la matriz. (Saaty, 1980), demuestra matemáticamente que el auto vector normalizado calculado a partir de la matriz es la mejor aproximación de evaluación de los criterios analizados. En el caso de criterios

cuantitativos, es necesario diseñar un método de priorización que permita cuantificar de forma consistente el peso de cada criterio a ser analizado (Saaty, 1980)

3. **La técnica AHP permite al analista evaluar la congruencia de los juicios con el radio de inconsistencia (IR).** Antes de determinar una inconsistencia, es necesario estimar el índice de consistencia (CI) de una matriz de juicios de nxn, donde CI viene definido por:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

Donde λ_{max} . Es el máximo auto valor de la matriz de nxn. De esta forma IR es definido por:

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

Donde RI es el valor aleatorio promedio de CI para una n x n matriz. Los valores de RI son mostrados en la **Tabla 2-2**, en donde n es el tamaño de la matriz de comparación pareada.

Tabla 2-2 Valores de RI para matrices de diferentes órdenes

n	1	2	3	4	5	6	7	8	
RI	0	0	0.525	0.89	1.11	1.25	1.35	1,404	
n	9	10	11	12	13	14	15	16	
RI	1,45	1,48	1,51	1,53	1,55	1,57	1,58	1,59	

Fuente: (Saaty, 1980)

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Los juicios pueden ser considerados aceptables si IR es inferior o igual a 0,1 como se muestra en la **Tabla 2-3**, para matriz de comparación pareada mayor a 5 en casos de inconsistencia, el proceso de evaluación para la matriz evaluada es inmediatamente repetido. Inconsistencias superiores a 0,1 o más justifican una mayor investigación de los criterios evaluados.

Tabla 2-3 Porcentajes máximos de inconsistencia

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

Fuente: (Viscaíno, MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN, 2018)

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

2.2.6 Fases para el desarrollo del instrumento para la evaluación de la gestión del mantenimiento.

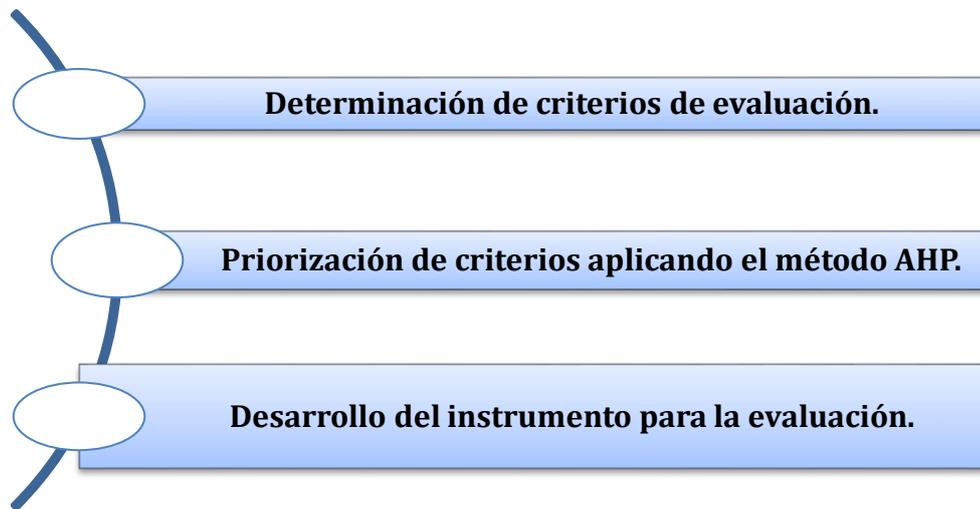


Figura 2-3 Fases para la aplicación de la metodología (AHP)

Fuente. (Viscaíno, MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN, 2018)

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

En la **Figura 2-3**, se muestra las fases mediante las cuales, se desarrolla el instrumento para la evaluación de la gestión del mantenimiento.

2.2.6.1 Determinación de los criterios de evaluación.

Para la determinación de los diferentes criterios se utilizará fuentes de información tales como:

- ✓ Libros.
- ✓ Artículos científicos.
- ✓ Tesis de maestría.

Los criterios según (Viscaíno, Quesada, & Villacrés, 2017) que considera en su trabajo de titulación para la evaluación del mantenimiento en cuanto a los edificios o instalaciones civiles son los que se anotan en la **Tabla 2-4**:

Estos requerimientos, criterios y sus respectivas descripciones permiten tener una idea de partida.

Tabla 2-4 Requerimientos y criterios de evaluación de la gestión del mantenimiento de edificios.

Requerimientos	Criterios	Descripción del criterio de evaluación
Organización general del mantenimiento	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 del mantenimiento, que contengan una exposición clara de los objetivos y las técnicas necesarias a ser adoptadas para mantener los edificios aptos para el uso.
	Informes de mantenimiento	Disponer de buenos reportes de mantenimiento que permitan su control y evaluación.
	Herramienta informática para la gestión del mantenimiento	Para la gestión de la información puede emplearse como herramienta un software para la gestión del mantenimiento (CMMS) para la planificación, organización, control y almacenamiento adecuado de información, que asegure eficiente y eficazmente la gestión del mantenimiento del edificio.
	Norma de estado mínimo de mantenimiento del edificio	Establecimiento de una norma, en la que se indique el estado mínimo aceptable de mantenimiento del edificio.
Recursos humanos	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 para mantenerse al día con la última tecnología. Los usuarios deben estar conscientes de la importancia del mantenimiento y deben recibir entrenamiento en el mantenimiento de edificios, para que puedan participar activamente en él.
	Cantidad de personal de mantenimiento	Disponer de un número adecuado de personal de mantenimiento, de acuerdo a las necesidades de la edificación.
	Asimilación de nuevas metodologías	Asimilación de nuevas metodologías por parte de los administradores de mantenimiento de edificios, quienes deben cambiar su forma de pensar sobre la importancia de la conservación de los edificios.
Control económico	Presupuesto de mantenimiento	Aplicar buenas técnicas para la elaboración de presupuestos, para tener un buen control financiero a través de programas de mantenimiento.
	Indicadores económicos	Establecer y disponer de indicadores económicos de mantenimiento para su evaluación y control.

Fuente. (Viscaíno et al., 2017)

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

2.2.6.2 Priorización de criterios aplicando el método AHP.

Para ponderar o determinar los pesos de los criterios utilizará la metodología del AHP.

La cual establece el siguiente procedimiento:

✓ **Modelación.**

Una vez definidos los criterios es necesario estructurarles de manera jerárquica como se muestra en la **Figura 2-5**.

✓ **Valoración.**

En esta etapa se realiza la consulta a especialistas en el área de la gestión del mantenimiento. Y los aspectos a considerar para la valorización de criterios son los que se detallan en la **Figura 2-4**:



Figura 2-4 Estructura del listado de equipos
Fuente. (Viscaíno, MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN, 2018)
Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

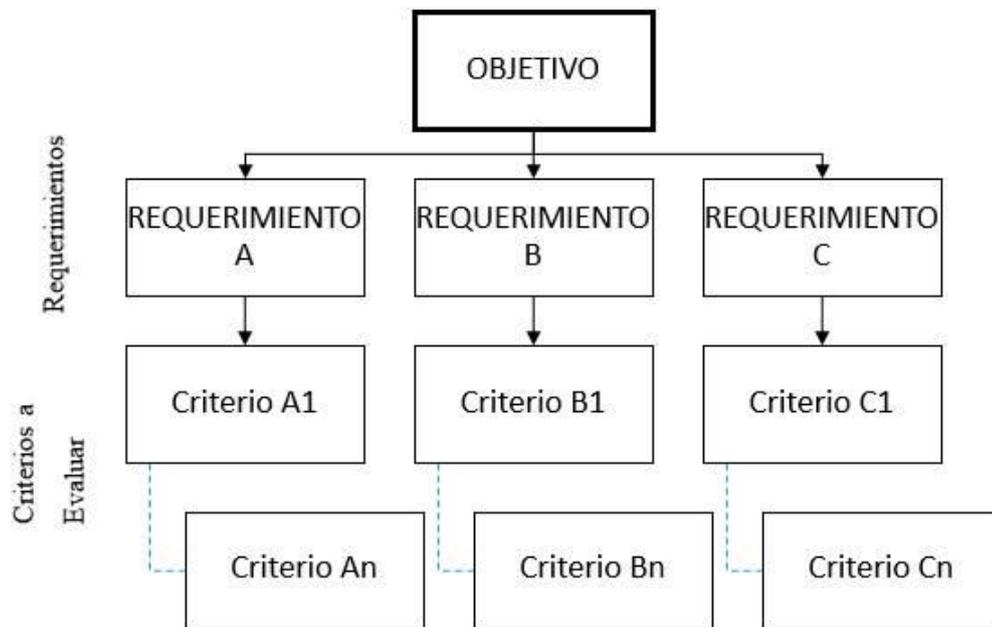


Figura 2-5 Estructura jerárquica de los criterios.
Fuente. (Viscaíno, MÉTODO DE EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN, 2018)
Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

✓ **Priorización.**

En esta etapa los especialistas asignarán la valorización al comparar los diferentes criterios, para lo cual se requiere:

1. Codificación de criterios de evaluación.
2. Asignación de valores.
3. Matriz de comparación pareada (ver **Tabla 2-5**).

Tabla 2-5 Matriz de comparación pareada

Requerimientos	Criterio 1	Criterio 2	-	Criterio i
Criterio 1	1	C_{12}	-	C_{1i}
Criterio 2	$1/C_{12}$	1	-	C_{2i}
....	1
Criterio i	C_{2i}	$1/C_{2i}$	1

Fuente: (Saaty, 1980)

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Una vez armada y definida la matriz con los valores adecuados se procede con el cálculo de la priorización:

Paso 1: Sumar los valores en cada columna de la matriz de comparación pareada.

Paso 2: Dividir cada elemento de tal matriz entre el total de su columna; a la matriz resultante se le denomina matriz de comparaciones pareadas normalizada.

Paso 3: Calcular el promedio de los elementos de cada renglón de las prioridades relativas de los elementos que se comparan.

Paso 4: Se consideran las prioridades de cada criterio en términos de la meta global:

$$\begin{array}{c}
 \text{Meta} \\
 \text{Global} \\
 \text{Criterio 1} \\
 \text{Criterio 2} \\
 \dots \\
 \text{Criterio m}
 \end{array}
 \begin{pmatrix}
 P'_1 \\
 P'_2 \\
 \dots \\
 P'_m
 \end{pmatrix}$$

Figura 2-6 Matriz de prioridades

Fuente: (Saaty & Wiley, 2009)

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

De la **Figura 2-6**, m es el número de criterios y P'_i es la prioridad del criterio i con respecto a la meta global, para $i= 1, 2, \dots, m$.

2.2.6.3 Desarrollo del instrumento para la evaluación

Para evaluar los subcriterios se debe elaborar un instrumento de evaluación que debe constar de (ver **Figura 2-7**) (Quesada, pág. 185):

- ✓ Objetivo del criterio de evaluación
- ✓ Normativa nacional
- ✓ Método de evaluación
- ✓ Tipo de evaluación
- ✓ Niveles de referencia
- ✓ Comentarios
- ✓ Documentos de consulta

2.3 Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)

Este método nace de la mano del mundo aeronáutico, no está orientado a la baja o disminución de costes, pero su aplicación a la final, si se es bien implementado se termina reduciendo costos.

El RCM analiza los equipos, sistemas, subsistemas y áreas en general preguntándose ¿Que puede fallar?, entonces analiza los modos de fallo y que los causa para atacarlos y reducirlos o mitigarlos al mínimo, puesto que RCM busca que no existan los fallos en proceso, visto desde el punto aeronáutico ya que están en juego vidas.

2.3.1 *Proceso del RCM*

Básicamente se debe responder a las 7 preguntas del proceso RCM, (Moubray, 2004, pág. 7) que son:

- ✓ ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
- ✓ ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
- ✓ ¿Cuál es la causa de cada fallo funcional?
- ✓ ¿Qué sucede cuando ocurre cada fallo?
- ✓ ¿En qué sentido es importante cada fallo?
- ✓ ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada fallo?
- ✓ ¿Qué debe hacerse sí no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

2.3.2 *¿Qué se logra con el RCM?*

Según (Moubray, 2004, págs. 19-21) lo que se consigue o se logra con el RCM es:

- ✓ Mayor seguridad e integridad ambiental.

- ✓ Mejor funcionamiento operacional (cantidad, calidad de producto y servicio al cliente).
- ✓ Mayor costo-eficacia del mantenimiento.
- ✓ Mayor vida útil de componentes costosos.
- ✓ Una base de datos global.
- ✓ Mayor motivación del personal.
- ✓ Mejor trabajo de equipo.

2.3.3 *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) Abreviado*

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad abreviado o técnicas abreviadas del RCM, se denomina a la propuesta cuya finalidad sea la de reducir los tiempos y recursos de implementación del RCM

En consecuencia, implementar el RCM en el menor tiempo posible con menor recurso y realizando el análisis desde las últimas preguntas del RCM, asumiendo que el plan cubre todos los modos de fallo en la instalación, equipo o sistema de estudio, es lo que se conoce como RCM Abreviado.

2.3.4 *Proceso para aplicar el RCM “Abreviado”*

Antes de comenzar a analizar los requerimientos de mantenimiento de los activos físicos de cualquier organización, se necesita saber, de qué activos se trata y decidir cuáles de ellos serán sometidos al proceso de revisión de RCM “Abreviado”. Esto significa que debe prepararse un registro de planta, si es que no existe actualmente. (Moubray, 2004, pág. 16)

INSTRUMENTO PARA EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE EDIFICIOS UNIVERSITARIOS

1. REQUERIMIENTO OM: Organización general del mantenimiento

1.1 **OM1:** Políticas de mantenimiento

Tabla 1: Descripción del criterio de evaluación: políticas de mantenimiento.

Criterio de evaluación:	OM1: <i>Políticas de mantenimiento</i>		
Objetivo:	Establecer un compromiso por parte de todos los involucrados para impulsar la conservación del edificio a través del mantenimiento.		
Método de evaluación:	Se evalúan las evidencias físicas a través de documentos impresos o digitales que demuestren la disposición de políticas de mantenimiento.	Tipo de evaluación:	Características
Niveles de referencia	Exigencias del criterio		Puntuación Valoración
Deficiente			
Poco satisfactorio			
Cuasi satisfactorio			
Satisfactorio			
Comentario: Se asignará la puntuación respectiva de cada nivel, al cumplimiento de todas las exigencias.			
Elaborado por: Ing. Sergio Villacrés e Ing. Mayra Viscaíno			

Figura 2-7 Instrumento para evaluación de la gestión de mantenimiento de edificios universitarios

Fuente: Ing. Sergio Villacrés e Ing. Mayra Viscaíno

En la **Figura 2-8**, se ha diseñado un procedimiento para aplicar el RCM Abreviado

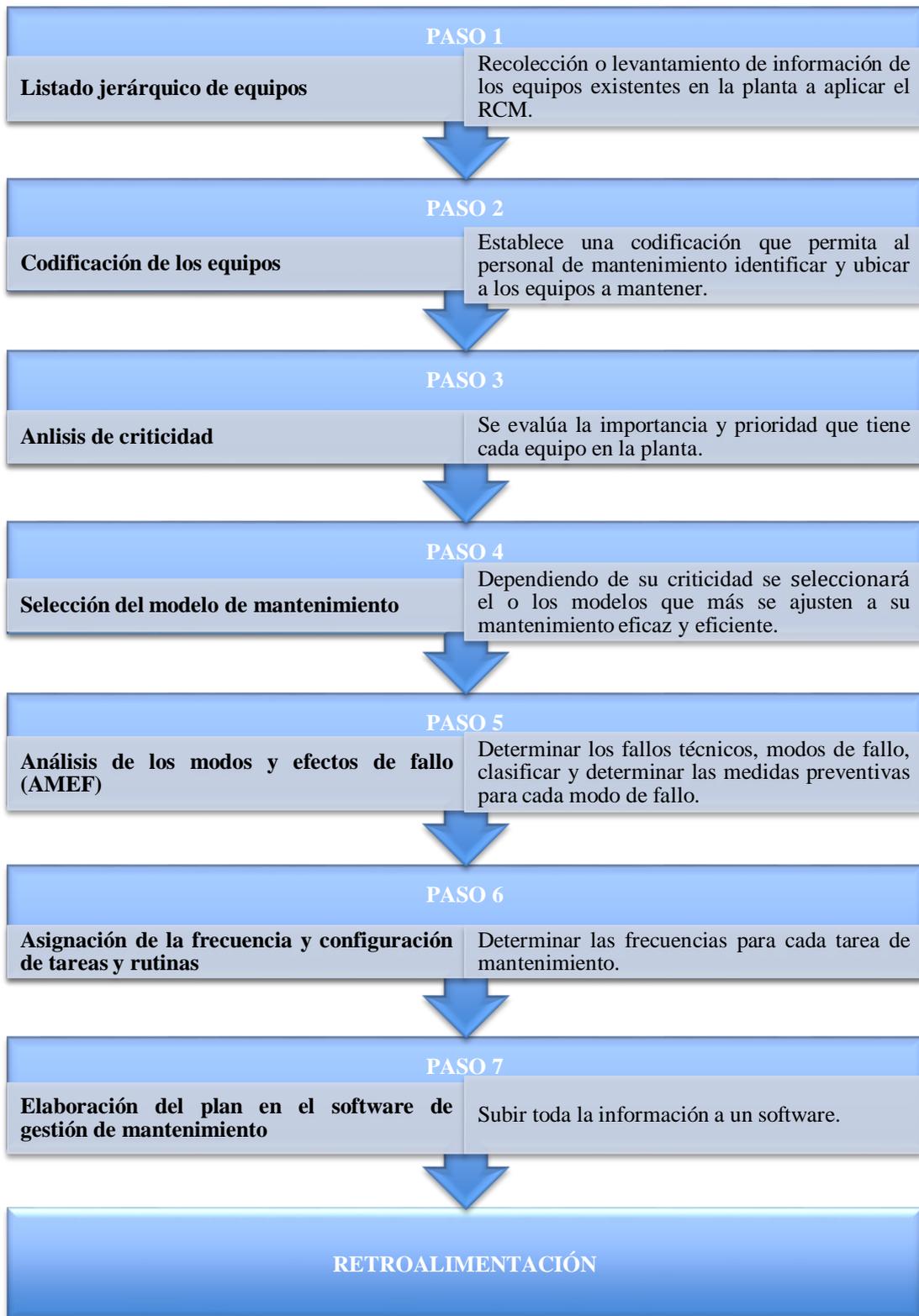


Figura 2-8 Proceso de aplicación del RCM

Fuente: (Moubray, 2004)

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

2.3.4.1 Listado de equipos

Si se quiere elaborar una lista de equipos realmente útil, se debe expresar esta lista en forma taxonómica o de estructura arbórea, en la que se indiquen las relaciones de dependencia como se muestra en la **Figura 2-9** (ISO 14224 & The British Standards Institution, 2016).

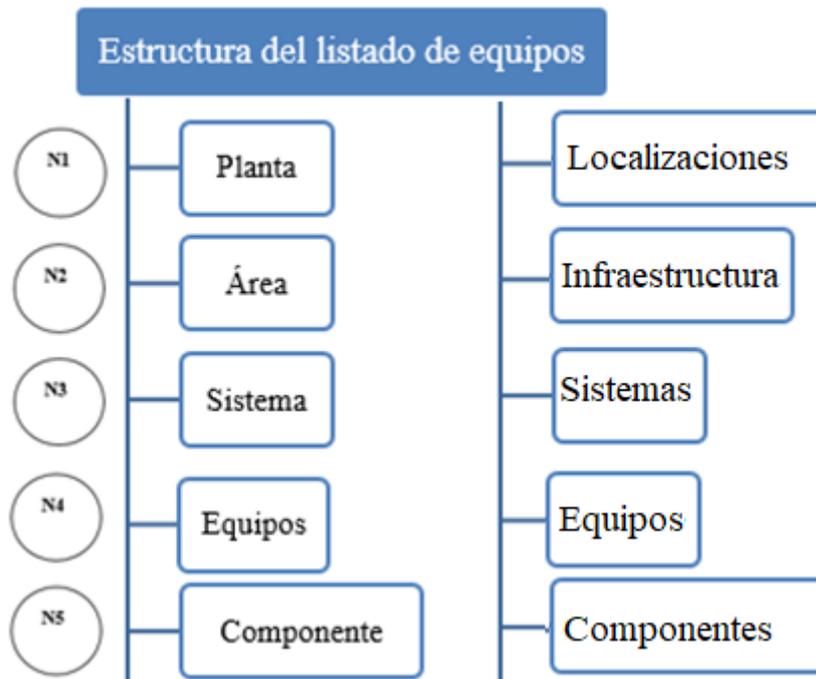


Figura 2-9 Estructura del listado de equipos y su equivalencia a la estructura a emplearse

Fuente: (ISO 14224 & The British Standards Institution, 2016)

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

2.3.4.2 Codificación

La codificación está sujeta a normas, establecidas y homologadas para las necesidades del grupo de investigación para que sea compatible con el software de Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador (GMAO), y a su vez sea fácilmente ubicado cada uno de los equipos por el personal de mantenimiento, siendo este código único para cada equipo y exclusivo para mantenimiento.

El sistema de codificación aporta valiosa información sobre el equipo al que se refiere: tipo de equipo, área en el que está ubicada, familia a la que pertenece, y toda aquella información adicional que se quiera incorporar al código como se visualiza en la **Figura 2-10**. El problema es que al añadir más información el código aumenta de tamaño. (García Garrido, 2003, pág. 13)

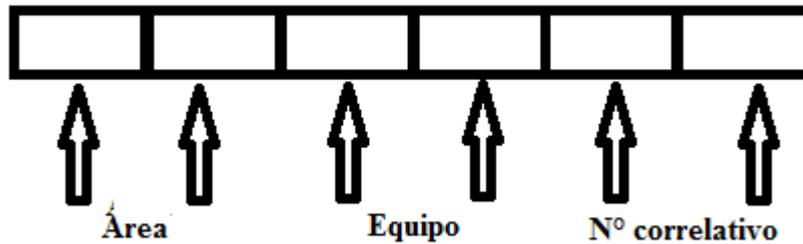


Figura 2-10 Estructura del código de mantenimiento.

Fuente. (García Garrido, 2003)

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Al momento el Departamento de Mantenimiento y Desarrollo Físico (DMDF), ha asignado el código de clave catastral, como código regente para los edificios de la facultad de Mecánica como se muestra en la **Tabla 2-6**.

Tabla 2-6 Código de clave catastral del edificio de la carrera de Ingeniería Mecánica

CLAVE CATASTRAL		
UA3N03	80	25

Fuente: Departamento de Mantenimiento y Desarrollo Físico (DMDF)

Dónde:

- ✓ **UA3** Unidad académica
- ✓ **N03** Denominación para la Facultad de Mecánica
- ✓ **080** Ubicación por manzanas dentro de la ESPOCH
- ✓ **25** Número de predio dentro de la manzana

La nueva codificación propuesta se observa en la **Tabla 2-7**, es:

Tabla 2-7 Codificación propuesta para mantenimiento para los dos primeros niveles.

CÓDIGO PROPUESTO	
M	25

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Dónde:

- ✓ **M:** Denominación para la “*FACULTA DE MECÁNICA*”

✓ **25:** Número del edificio/predio de la Facultad, que en este caso corresponde al número del, “*EDIFICIO M25: BLOQUE DE AULAS CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA*”.

Para este trabajo la codificación se dividirá en dos, para la parte civil y para la parte de laboratorios y talleres.

Codificación parte civil se mantiene la letra M de facultad de mecánica, luego le asignamos un código numérico de dos dígitos que corresponderá al predio catastral como se propuso anteriormente y para la parte de los sistemas se seguirá la codificación civil numérica de tres dígitos múltiplos de 2.

Codificación parte de laboratorios y talleres, se inicia con la letra M de la facultad de mecánica, seguido de la letra L para para designar los laboratorios y talleres, luego se le asignará el código numérico múltiplos de 5 que identificará y ubicará a cada laboratorio y taller, siendo este último código el que se le asigne de acuerdo a la distribución y conclusiones entre los integrantes del grupo de investigaciones de mantenimiento.

2.3.4.3 Análisis de criticidad

No todos los equipos tienen la misma importancia en una planta industrial.

Es un hecho, que unos equipos son más importantes que otros. Como los recursos de una empresa para mantener una planta son limitados, hay que destinar la mayor parte de los recursos a los equipos más importantes (García Garrido, 2003, pág. 24).

Cuando se trata de hacer esta diferenciación, se hace el análisis de criticidad de los equipos de la planta.

Para esto comiencese distinguiendo una determinada serie de niveles de importancia o criticidad (García Garrido, 2003, pág. 24):

- a) ***Equipos críticos.*** - Son aquellos equipos cuya parada o mal funcionamiento afecta significativamente a los resultados de la empresa.
- b) ***Equipos importantes.*** - Son aquellos equipos cuya parada, avería o mal funcionamiento afecta a la empresa, pero las consecuencias son asumibles.
- c) ***Equipos prescindibles.*** - Son aquellos con una incidencia escasa en los resultados. Como mucho, supondrán una pequeña incomodidad, algún pequeño cambio de escasa trascendencia, o un pequeño coste adicional.

La matriz de criticidad para evaluar de manera cualitativa a los equipos civiles se muestra en la **Tabla 2-8**, esta matriz ha sido adaptada acorde a las necesidades del grupo de investigación para poder realizar el análisis de criticidad en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, junto con el flujograma o camino de selección de criticidad que se muestra en y **Figura 2-11**.

Tabla 2-8 Matriz para valorar la criticidad de un equipo

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

Fuente: Grupo de investigación “Gestión de mantenimiento”

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

En esta tabla se consideran los siete aspectos como son:

- ✓ Medio ambiente (E)
- ✓ Seguridad (S)

- ✓ Calidad (Q)
- ✓ Tiempo de trabajo (W)
- ✓ Impacto operacional (D)
- ✓ Fiabilidad (F)
- ✓ Mantenibilidad (M)

A su vez, sus siglas se encuentran en el camino o flujograma para establecer la criticidad de manera cualitativa como lo mencionamos anteriormente.

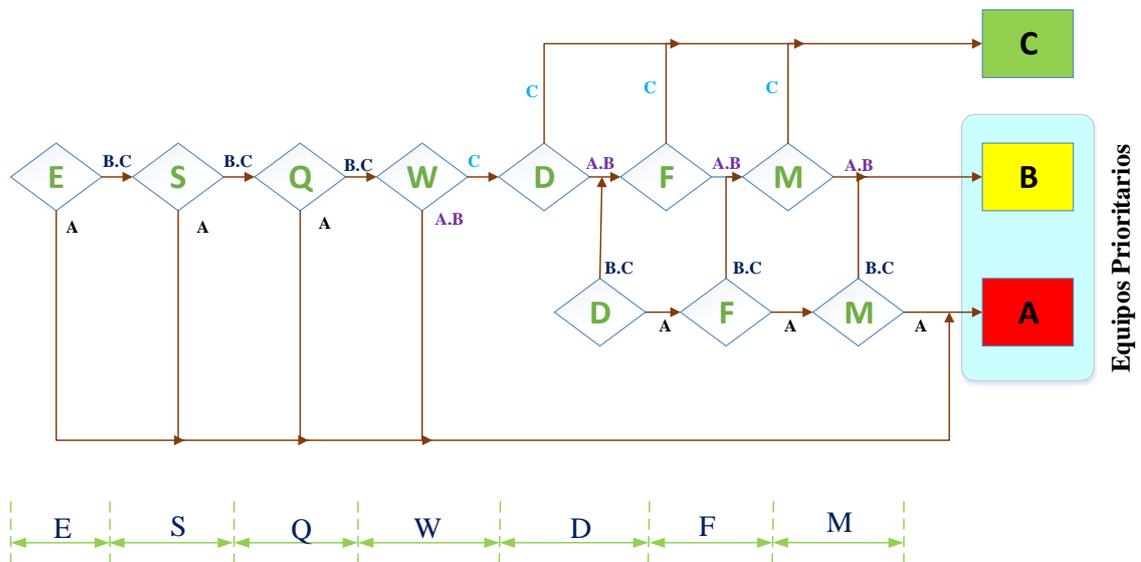


Figura 2-11 Flujograma para el análisis de criticidad cualitativo área civil

Fuente: (Parra Márquez & Crespo Márquez, 2012)

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Mientras que la matriz de evaluación de criticidad para equipos de laboratorio y talleres se muestra en la **Figura 2-12**, en ella tan solo toman en cuenta cuatro aspectos a evaluar y de la misma manera ha sido adaptada a las necesidades del grupo de investigación conjuntamente con el flujograma o camino de selección de criticidad que se muestra en y **Figura 2.13**.

CRITICIDAD	A CRITICO	B IMPORTANTE	C PRESCINDIBLE
Seguridad y medio ambiente.	Puede originar un accidente muy grave	Necesita revisiones periódicas anuales (de seguridad)	Poca influencia en la seguridad y medio ambiente.
	Necesita revisiones periódicas frecuentes (de seguridad)	Puede ocasionar un accidente grave, pero las posibilidades son remotas.	
	Ha producido accidentes en el pasado		
Impacto operacional.	Su parada afecta en la planificación de ejecución de prácticas de laboratorio.	Afecta a la ejecución de práctica, pero es recuperable (no llega a afectar a los ocupantes en la planificación de prácticas)	Poca influencia en la ejecución de prácticas
Calidad del proceso de enseñanza - aprendizaje	Es clave para la calidad del proceso, enseñanza aprendizaje.	Afecta la calidad del proceso, enseñanza-aprendizaje, pero habitualmente no es problemático.	No afecta a la calidad del proceso, enseñanza-aprendizaje.
Mantenimiento.	Alto costo de reparación en caso de avería	Coste medio en mantenimiento	Bajo costo de mantenimiento
	Averías muy frecuentes		
	Consumo una parte importante de los recursos de mantenimiento (mano de obra o materiales)		

Figura 2-12 Matriz de criticidad para equipos de talleres y laboratorios

Fuente: Grupo de investigación “Gestión del mantenimiento”

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

En esta matriz para la evaluación de la criticidad en los equipos de laboratorios y talleres se consideran los cuatro aspectos como son:

- ✓ Seguridad y Medio ambiente (S&E)
- ✓ Impacto operacional (D)
- ✓ Calidad del proceso de enseñanza aprendizaje (F)
- ✓ Mantenimiento (M)

A su vez, al igual que en la evaluación de la criticidad de los equipos civiles las siglas se encuentran en el camino o flujograma para establecer la criticidad de manera cualitativa.

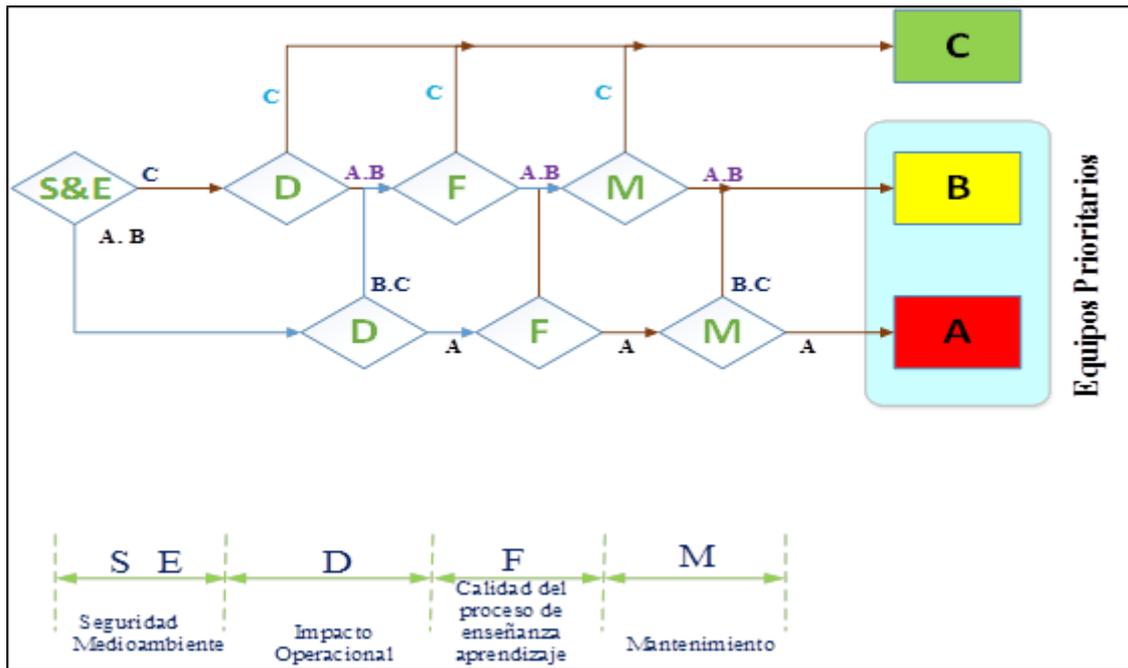


Figura 2-13 Flujograma para el análisis de criticidad cualitativo para laboratorios y talleres

Fuente: (Parra Márquez & Crespo Márquez, 2012)

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

2.3.4.4 Selección del modelo de mantenimiento

Una vez determinado la criticidad del equipo que se analiza., se procede a la selección del modelo de mantenimiento a aplicar. Si el equipo resulta ser (García Garrido, 2003, pág. 26):

- ✓ **Crítico**, el modelo de mantenimiento será alguno de los tres que corresponden a mantenimiento programado.
- ✓ **Importante**, tendrá que estudiar todavía un poco más las consecuencias de una avería.
- ✓ **Prescindible**, le corresponderá el modelo correctivo como se resume en la **Figura 2-14**.

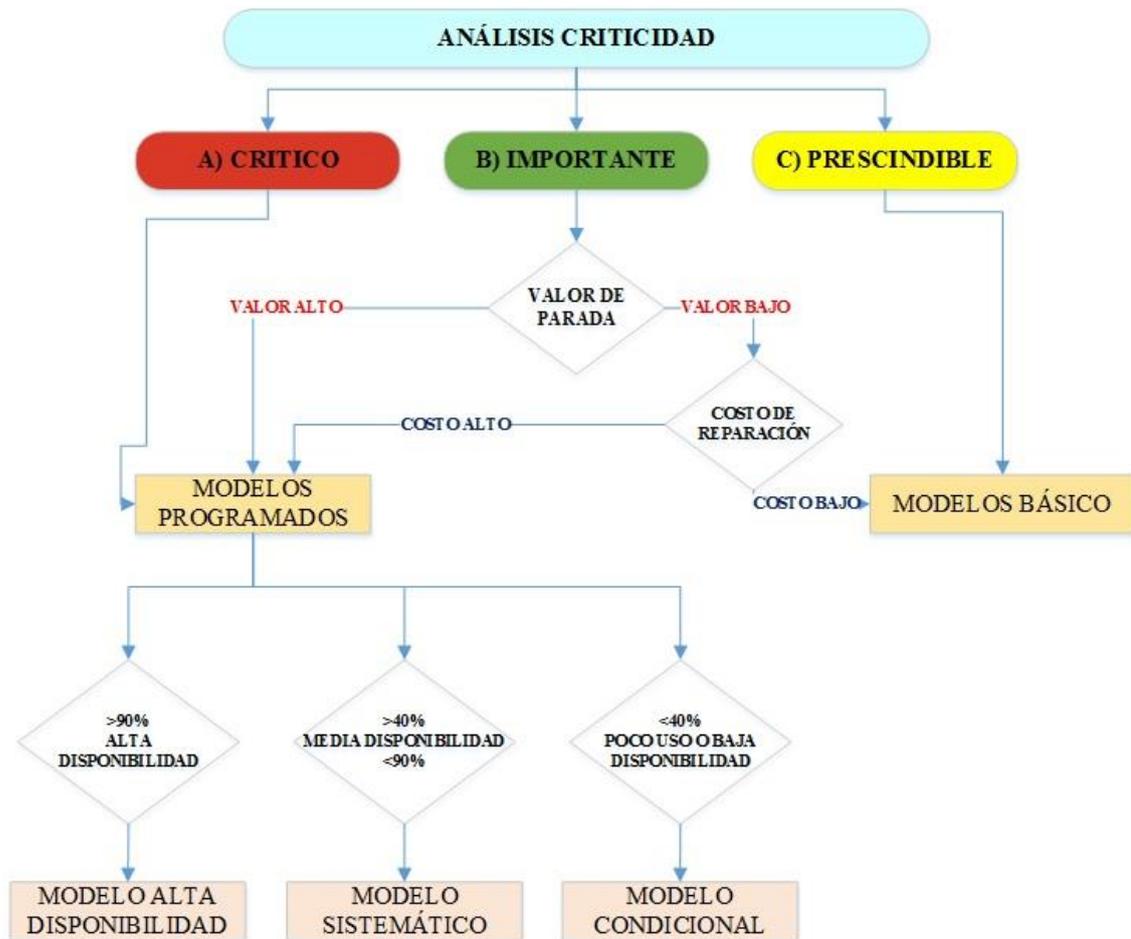


Figura 2-14 Flujoograma para la selección del modelo de mantenimiento
Fuente: Grupo de investigación “Gestión del mantenimiento”

2.3.4.5 Ficha de un equipo.

La ficha de equipo según (García Garrido, 2003, pág. 31) debe contener los datos más sobresalientes que afecten al mantenimiento de cada uno de los equipos de la planta.

A la hora de elaborar estas fichas, se debe comenzar por los equipos más importantes, y después continuar con el resto hasta completar la totalidad de los equipos de la planta. Esto debe hacerse así porque los equipos más significativos llevarán generalmente poco tiempo y, en cambio, el total de los equipos tomarán mucho más. Si por alguna razón se paraliza el trabajo, es mejor dejar de hacer los equipos menos importantes, por razones obvias (García Garrido, 2003, pág. 31).

En la ficha del equipo se anotarán los siguientes datos más representativos según (García Garrido, 2003, págs. 31, 32):

- ✓ Código del equipo y descripción.
- ✓ Datos generales.

- ✓ Características principales (especificaciones).
- ✓ Valores de referencia (temperaturas de funcionamiento,
- ✓ Análisis de criticidad del equipo
- ✓ Modelo de mantenimiento recomendable
- ✓ Si necesita de mantenimiento legal.
- ✓ Repuestos críticos que deben permanecer en stock
- ✓ Consumibles necesarios (lubricantes, filtros, etc.)
- ✓ Acciones formativas que se consideran necesarias para poder tener el conocimiento que se requiere para poder ocuparse del mantenimiento del equipo.

El modelo de ficha técnica para equipos de laboratorios y talleres que se utilizará se observa en la **Figura 2-15**.

Mientras que el modelo de ficha técnica para equipos civiles que se utilizará se observa en la **Figura 2-16**.

FICHA TÉCNICA DE EQUIPOS DE LABORATORIO			
Elaborador por: Altamirano, Tutasig, 2019 Fecha:			
Marca:		No serie:	
Modelo:			
Código de bienes:			
Ubicación:			
Frecuencia de uso:			
Estado:			
Características técnicas			

Figura 2-15 Modelo de ficha técnica para equipos de laboratorios y talleres
Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

FICHA TÉCNICA DE UNA ÁREA ARQUITECTÓNICA:

Elaborador por: _____ Fecha: _____

ÁREA ARQUITECTÓNICA

DESCRIPCIÓN: _____ **CÓDIGO:** _____

CIELO RASO:		PISO:	
Tipo de cielo raso:		Tipo de piso:	
Área de cielo raso (m2):		Área de piso (m2):	

PAREDES:

Enlucidas y pintadas (m2):		Mampara de vidrio (m2):	
Champeadas (m2):		Mampara de madera (m2):	
Madera (m2):		Paredes con apliques (m2):	
Ladrillo visto (m2):		P. con cerámica (m2):	
Mampostería de piedra (m2):		P. con porcelanato (m2):	
Tabiquería (m2):		P. con otro revestimiento (m2):	

PUERTAS Y VENTANAS:

Número de puertas:		Número de ventanas:	
Área puertas (m2):		Área de ventanas (m2):	
Material de puertas:		Material de ventanas:	

ILUMINACIÓN:

No. Lámparas fluorescentes:		No. Focos convencionales:	
No. Lámparas ojos de buey:		No. de reflectores:	
No. Focos ahorradores:		No. otro tipo: _____	

INSTALACIONES :

No. Tomacorrientes 110V:		No. placas mixtas (toma+inter):	
No. Tomacorrientes 220V:		No. de puntos de red:	
No. Interruptores:		No. de puntos telefónicos:	

DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD:

No. Extintores:		No. Lámparas de emergencia:	
No. Sensores de humo:		No. cámaras de vigilancia:	
No. Sensores de movimiento:		No. otros: _____	

OTROS DISPOSITIVOS:

No. Aire acondicionado:		Infocus:	
Sistema de Audio:		No. otros: _____	

Observaciones: Se adjunta ficha técnica de equipos mecánicos Sí: _____ No: _____

ESQUEMA DEL ÁREA ARQUITECTÓNICA: _____

Figura 2-16 Modelo de ficha técnica para equipos civiles

Fuente: Grupo de investigación "Gestión de mantenimiento"

2.3.4.6 Análisis de los modos y efectos de fallo.

Para el caso de estudio es pertinente conocer las definiciones de acuerdo a la norma de terminología de mantenimiento UNE-EN-13306 que son los siguientes:

Fallo: Cese de la aptitud de un elemento para realizar una función requerida. (UNE-EN-13306, 2010, pág. 10)

Modo de fallo: Manera en que se produce la inaptitud de un elemento para realizar una función requerida. (UNE-EN-13306, 2010, pág. 10)

Determinación de fallos funcionales y fallos técnicos

Fallo **funcional**, es aquel fallo que impide al equipo o al sistema analizado cumplir su función y definir el fallo como la anti función, como el no cumplimiento de su función.

Un **fallo técnico** es aquel que, no impide al equipo que cumpla su función, supone un funcionamiento anormal de éste. Así (García Garrido, 2003, pág. 39), fallos técnicos de un sistema de lubricación podrían ser:

- ✓ Fuga de aceite.
- ✓ Temperatura de aceite muy alta.
- ✓ Presencia de agua en el aceite.

Estos fallos, aunque de una importancia menor que los fallos funcionales, suponen funcionamientos anormales que acaban convirtiéndose en fallos funcionales. (García Garrido, 2003, pág. 39)

Determinación de los modos de fallo

Una vez determinados los fallos que pueden presentar un equipo, un sistema funcional de un equipo o un elemento (dependiendo de qué se haya tomado como referencia para establecer el plan de mantenimiento) deben estudiarse los modos de fallo. Se pueden definir los modos de fallo como las *circunstancias que acompañan un fallo concreto*.

Por ejemplo, según (García Garrido, 2003), los modos de fallo para sistema de lubricación pueden ser:

- ✓ El sistema no lubrica por no tener aceite en el depósito.
- ✓ El sistema no lubrica por obstrucción en algún conducto.

- ✓ El sistema no lubrica porque la bomba de lubricación no funciona.
- ✓ El sistema no lubrica porque los filtros están obstruidos.

Cada fallo, funcional o técnico, puede presentar, múltiples modos de fallo. Es muy importante determinar todos los modos de fallo posibles, pues sólo así es posible realizar un análisis completo y exhaustivo (García Garrido, 2003, pág. 43).

El análisis de modos y efectos de fallo.

Una vez realizado lo antes detallado, se procede a organizar la información de cada activo en tablas, se elabora el análisis de modos y efectos de fallo como se muestra en la **Tabla 2-9**, para cada equipo.

Tabla 2-9 Ejemplo de hoja del análisis de modos y efectos de fallo.

EQUIPO	SISTEMA	TIPO DE FALLO	DESCRIPCIÓN DE FALLO	MODO DE FALLO	CLASIFICACIÓN
CALDERA	AGUA DE ALIMENTACIÓN	FUNCIONAL	LA CALDERA NO RECIBE AGUA	Disparo protección térmica del motor	A evitar
				Cierre de válvulas de admisión o impulsión de las bombas	A evitar
		TÉCNICO	FUGAS DE AGUA	Roturas en las juntas	A amortiguar
				Poros en cañerías	A amortiguar

Fuente: (Gallegos, 2018)

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

2.3.4.7 Determinación de medidas preventivas

Determinados los modos de fallo de cada uno de los equipos, sistemas o elementos que componen la planta que se analiza, el siguiente paso es determinar las medidas preventivas que permiten, evitar el fallo o bien minimizar sus efectos.

Las medidas preventivas que se pueden tomar son de cuatro tipos: (García Garrido, 2003, pág. 43)

1. Tareas de mantenimiento
2. Mejoras y/o modificaciones de la instalación
3. Cambios en los procedimientos de operación

4. Cambios en los procedimientos de mantenimiento

Sin embargo, a continuación, se detalla las medidas preventivas que se puede aplicar en el mantenimiento de las áreas civiles y laboratorios en estudio.

1) Tareas de mantenimiento

Pueden ser a su vez de los siguientes tipos (García Garrido, 2003, pág. 43)

- ✓ Tipo 1: Inspecciones visuales
- ✓ Tipo 2: Tareas de lubricación
- ✓ Tipo 3: Verificaciones del correcto funcionamiento realizados con instrumentos externos del equipo (verificaciones on-line)
- ✓ Tipo 4: Verificaciones del correcto funcionamiento realizados con instrumentos propios del equipo (verificaciones off-line)
- ✓ Tipo 5: Limpieza técnica condicional
- ✓ Tipo 6: Ajustes condicionales
- ✓ Tipo 7: Limpiezas técnicas sistemáticas
- ✓ Tipo 8: Ajustes sistemáticos
- ✓ Tipo 9: Sustitución sistemática de piezas
- ✓ Tipo 10: Grandes revisiones (parada mayor)

Las tareas de mantenimiento se pueden agrupar de acuerdo al modelo de mantenimiento como se muestra en la **Tabla 2-10** (García Garrido, 2003, págs. 44,45).

Tabla 2-10 Agrupación de tareas por modelo de mantenimiento

BANCO DE TAREAS	
Modelo básico	Modelo Sistemático
Inspecciones visuales	Inspecciones visuales
Lubricación	Lubricación
Reparación de averías	Reparación de averías
Modelo condicional	Mantenimiento Condicional
Inspecciones visuales	Mantenimiento preventivo sistemático
Lubricación	
Reparación de averías	
Mantenimiento Condicional	

Fuente. (García Garrido, 2003)

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

2) Cambios en los procedimientos de operación

El personal que opera suele tener una alta incidencia en los problemas que presenta un equipo. Pero un cambio en un procedimiento de operación tiene en general un coste muy bajo, y un beneficio potencial altísimo (García Garrido, 2003, pág. 47).

3) Cambios en los procedimientos de mantenimiento

La redacción de procedimientos en los que se indique claramente cómo deben realizarse determinadas tareas, y en los que figuren determinados datos (tolerancias, ajustes, pares de apriete, etc.) es de gran utilidad (García Garrido, 2003, pág. 47).

En la **Figura 2-17** se destacan el resumen de las medidas preventivas que se van a utilizar en este trabajo:

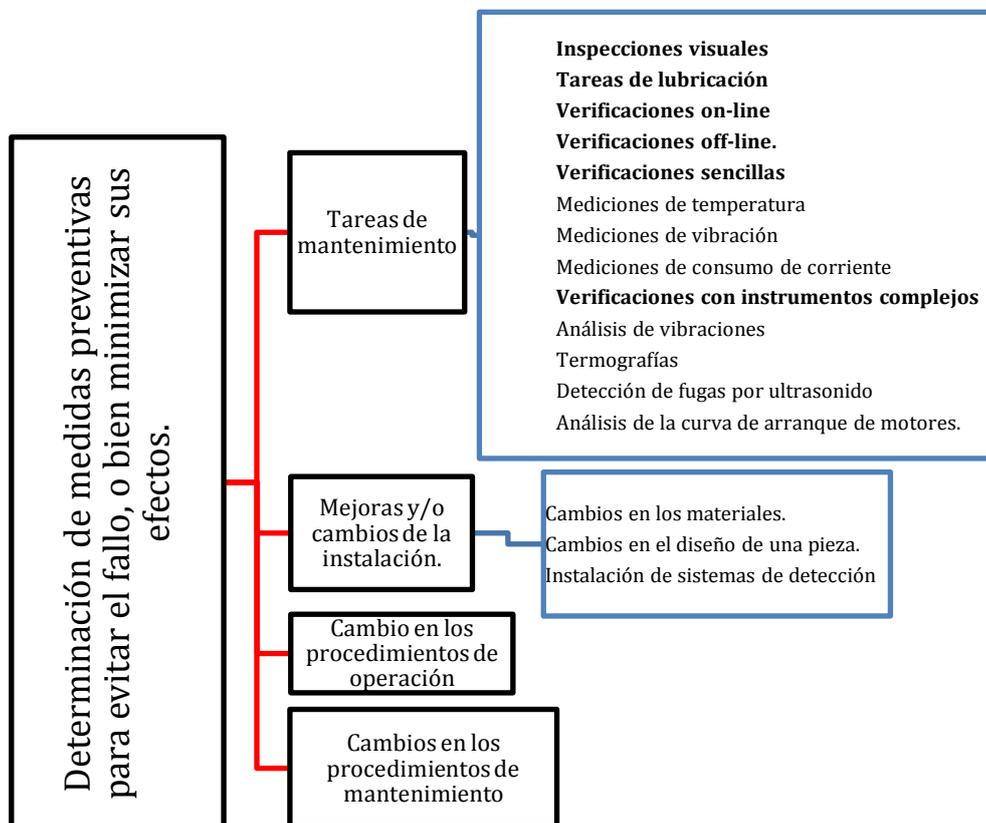


Figura 2-17 Determinación de medidas preventivas para evitar el fallo, o bien minimizar sus efectos.

Fuente: (García Garrido, 2003)

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

2.3.4.8 *Asignación de la frecuencia y configuración de tareas y rutinas de mantenimiento.*

Además de determinar las medidas preventivas, hay que fijar la frecuencia con la que se deber realizar cada una de ellas, y para ello existen las siguientes formas de establecer o fijar esta frecuencia (García Garrido, 2003, págs. 45,46).

1. Si se tienen datos históricos que permitan conocer la frecuencia con la que se produce el fallo, se puede utilizar cualquier *técnica estadística* que permita determinar cada cuánto tiempo se produce el fallo si no se actúa sobre el equipo. Se debe contar con un número mínimo de valores (recomendable más de 5, aunque cuanto mayor sea la población más exactos serán los resultados). La frecuencia estará en función del coste del fallo y del coste de la tarea de mantenimiento (mano de obra + materiales + pérdida de producción durante la intervención).
2. Si se dispone de *funciones matemáticas* que permitan pre decir el comportamiento de un determinado fallo, se puede estimar la frecuencia de intervención a partir de dicha función. Suele ser aplicable para estimar la vida de determinadas piezas
3. Si no se dispone de las informaciones anteriores, la determinación de la frecuencia con la que deben realizarse las tareas de mantenimiento propuestas puede hacerse en base a la *opinión de expertos*. Es la más subjetiva, la menos precisa de las formas de determinar la frecuencia de intervención y, sin embargo, la más utilizada. No siempre es posible disponer de información histórica o de modelos matemáticos que nos permitan predecir el comportamiento de una pieza.

Las dos maneras más usadas de determinar las frecuencias para las tareas de mantenimiento son; en base a la **experiencia de los operadores** de las máquinas lo cual requiere cierto grado de experticia en la elaboración del plan de mantenimiento y la otra de acuerdo a las **horas de funcionamiento del equipo**.

La que se empleará en este trabajo será la que aprovecha la experiencia de los encargados de realizar el mantenimiento tanto a la parte civil y a los laboratorios y talleres en la escuela de Ingeniería Mecánica y a los periodos académicos de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), a más de establecer conjuntamente y coordinar con el grupo de investigación, el cronograma de fechas de inicio de mantenimiento y las

frecuencias para las tareas, como se muestran en el modelo del cronograma en la **Tabla 2-11**.

Tabla 2-11 Modelo del cronograma de frecuencia y fechas de inicio de mantenimiento para los equipos de estudio.

Código Propuesto	Descripción	Frecuencia en semanas	Fecha inicial de mantenimiento

Fuente: Grupo de investigación “Gestión de mantenimiento”
Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Establecido las frecuencias para el mantenimiento se enlista las tareas con los datos necesarios como se observa en la **Figura 2-18**.

Formato de registro de tareas	
Código de tarea	Tarea

Figura 2-18 Formato de registro de tareas
Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

2.3.4.9 Plan de mantenimiento basado en RCM

Es la recopilación y almacenamiento en un software de todo lo mencionado anteriormente en este documento, desde la jerarquización de activos y la automatización de las tareas de mantenimiento programado que se deberán ejecutar.

Cumplidos los pasos del levantamiento de la información en la elaboración del listado de equipos, la codificación, establecimiento del modelo de mantenimiento que mejor se adapte a las características de cada equipo y la evaluación de su criticidad; se procede con la verificación de la información de las siguientes fases (García Garrido, 2003):

- ✓ Determinación de los fallos funcionales y técnicos de los sistemas que componen cada uno de los equipos.
- ✓ Determinación de los modos de fallo, tanto funcionales como técnicos.
- ✓ Estudio de las consecuencias de un fallo: clasificación de fallos en fallos a evitar y fallos a amortiguar.

- ✓ Determinación de medidas preventivas que eviten o amortigüen los efectos de los fallos.
- ✓ Selección de las tareas de mantenimiento que se ajustan al modelo de mantenimiento determinado para cada sistema.
- ✓ Determinación de las frecuencias óptimas para cada tarea.
- ✓ Agrupación de las tareas en rutas y gamas de mantenimiento, y elaboración del plan inicial de mantenimiento.
- ✓ Puesta en marcha de las rutas y gamas, y correcciones al plan inicial.

El modelo del plan de mantenimiento que se utilizará en este trabajo para los equipos tanto civiles como equipos de talleres y laboratorios se muestra en la **Figura 2-19**.

Plan de mantenimiento laboratorio M L165								
Cód. Equipo	Equipo	Código de tarea de mantenimiento	Tarea de mantenimiento	Frecuencia	Próximo mantenimiento	Materiales	Herramientas y equipos	Mano de obra (personal encargado)

Figura 2-19 Modelo del plan de mantenimiento.

Fuente: Grupo de investigación “Gestión de mantenimiento”

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

2.4 Capacitación

Es un conjunto de actividades con el fin de proporcionar conocimientos para el personal para obtener un mejor desempeño en el ámbito laboral (Mitchell, 1995, pág. 105).

Los beneficios que la capacitación tiene para el personal (Mitchell, 1995, pág. 105) son:

- ✓ Ayuda al individuo para la toma de decisiones y la solución de problemas.
- ✓ Alimenta la confianza, la posición asertiva y el desarrollo.
- ✓ Contribuye positivamente en el manejo de conflictos y tensiones.
- ✓ Forjar líderes y mejora las aptitudes comunicativas.
- ✓ Permite el logro de metas individuales.
- ✓ Desarrolla un sentido de progreso en muchos campos.
- ✓ Elimina los temores de incompetencia o la ignorancia individual.

Etapas para impartir una capacitación (Chiavenato, 2007, pág. 389):

1. Diagnóstico de las necesidades de capacitación.

2. Desarrollo de planes y programas.
3. Establecimiento de objetivos de la capacitación.
4. Estructuración de los contenidos de la capacitación.
5. Diseño de actividades de instrucción.
6. Selección de recursos didácticos.
7. Diseño de un programa o curso de capacitación.
8. Impartición o ejecución de la capacitación.
9. Determinación del proceso de evaluación de los resultados.

Los temas propuestos para la capacitación son:

- ✓ Introducción al sistema de gestión de mantenimiento asistido por computador (GMAO)
- ✓ Visualización de activos en la base de datos del software
- ✓ Generación y recepción de solicitudes de trabajo
- ✓ Generación de órdenes de trabajo correctivas
- ✓ Generación de solicitud de materiales
- ✓ Generación de órdenes de trabajo preventivas

De estos temas propuestos un enfoque mayor tiene en la generación de la documentación de mantenimiento como son la solicitud de trabajo y la orden de trabajo para los cuales se ha propuesto el modelo de solicitud de trabajo que se observa en la **Figura 2-20** y el modelo de una orden de trabajo de mantenimiento que se muestra en la **Figura 2-21**.

ESPOCH	SOLICITUD DE TRABAJO	No. <input type="text"/>
Trabajo(s) solicitado		
Dpto. Solicitante :		Dpto. Ejecutante:
Datos de ubicación:		
Emisión :		
Fecha :	<input type="text"/>	
Solicitante:		
Atención :		
Fecha :	<input type="text"/>	
<hr/>		

Figura 2-20 Formato de solicitud de trabajo
Fuente: Software SisMAC

ESPOCH		ORDEN DE TRABAJO		No. <input type="text"/>	
C.COSTO		FECHA PROG.	FECHA INICIO	FECHA FIN	
UBICACION		PROGRAMADA <input type="checkbox"/>		DIRECTA <input type="checkbox"/>	
SOLICITA	LABMEC/RES-	EJECUTA	LABMEC/RES-	PERIODO	
DESCRIPCION DEL TRABAJO					
DATOS ADICIONALES					
TAREAS					
MATERIALES / REPUESTOS					
PERSONAL REQUERIDO					
OBSERVACIONES GENERALES			OBSERVACIONES SEGURIDAD		
Emita <input type="text"/>		Aprueba <input type="text"/>		Cierra <input type="text"/>	
_____		_____		_____	

Figura 2-21 Formato de orden de trabajo
Fuente: Software SisMAC

CAPÍTULO III

3. DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO APLICANDO LA METODOLOGÍA RCM ABREVIADO

3.1 Evaluación de la gestión del mantenimiento

3.1.1 Determinación de los criterios de evaluación.

Con el grupo de ocho tesis, profesores y especialistas de mantenimiento mediante reuniones de trabajo se seleccionaron los criterios y subcriterios que intervinieron en la evaluación de la gestión de mantenimiento de los siguientes edificios:

- ✓ Edificio M11: Bloque de aulas Carrera de Ingeniería Mecánica,
- ✓ Edificio M17: Taller de reparaciones de la Facultad de Mecánica,
- ✓ Edificio M25: Bloque de aulas Carrera de Ingeniería Mecánica,
- ✓ Edificio M26: Bar Facultad de Mecánica,
- ✓ Edificio M33: Taller CAD CAM,
- ✓ Edificio M47: Baterías sanitarias Facultad de Mecánica, Edificio
- ✓ Edificio M48: Baterías Sanitarias Facultad de Mecánica

Los criterios que se nominaron se muestran en la **Tabla 3-1**.

De la **Tabla 3-1** se ha establecido que para el diseño del instrumento de evaluación se tienen seis (6) criterios, dieciocho (18) subcriterios.

Tabla 3-1 Criterios de evaluación para equipos y edificios de la Facultad de Mecánica.

Criterios		Subcriterios		Descripción del subcriterio de evaluación
OM	Organización general del mantenimiento	OM1	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.

Tabla 3-1. (Continuación) Criterios de evaluación para equipos y edificios de la Facultad de Mecánica.

		OM2	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.
RH	Recursos humanos de mantenimiento	RH1	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.
		RH2	Capacitación y entrenamiento	Capacitación continua de los administradores de mantenimiento y ejecutores de mantenimiento.
		RH3	Cantidad de personal de mantenimiento	Disponer de un número adecuado de personal de mantenimiento, de acuerdo a las necesidades de la infraestructura universitaria.
CE	Control económico de mantenimiento	CE1	Presupuesto de mantenimiento	Aplicar buenas técnicas para la elaboración de presupuestos, para tener un buen control financiero a través de programas de mantenimiento.
		CE2	Porcentaje de cumplimiento de presupuesto ejecutado	Establecer y disponer de indicadores económicos de mantenimiento para su evaluación y control.
PC	Planificación, programación y control	PC1	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.
		PC2	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)

Tabla 3-1 (Continuación) Criterios de evaluación para equipos y edificios de la Facultad de Mecánica.

		PC3	Programación de actividades de mantenimiento	de de	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.
		PC4	Documentos de mantenimiento	de	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.
		PC5	Control de la ejecución del mantenimiento planificado		Indicador = # trabajos ejecutados / # trabajos planificados.
TM	Tercerización de mantenimiento	TM1	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.
		TM2	Especificaciones técnicas de los trabajos		Cada contrato de mantenimiento deberá contener las especificaciones técnicas referentes al objeto del contrato.
		TM3	Supervisión de los trabajos ejecutados		
MI	Manejo de inventario para mantenimiento	MI1	Maestro de ítems		Listado ítems codificado y etiquetado.
		MI2	Control de existencias		Existencia actualizada de cada ítem.
		MI3	Inventario valorado de ítems		Cada ítem que consta en el inventario deberá tener el costo utilizando las siguientes metodologías FIFO, LIFO o Costo promedio.

Fuente: Grupo de investigación "Gestión de mantenimiento"

3.1.1.1 Modelación.

Los criterios de evaluación seleccionados de artículos científicos son: organización general del mantenimiento, recursos humanos de mantenimiento, control económico de mantenimiento, planificación, programación y control, tercerización del mantenimiento y manejo de inventario para mantenimiento, del conjunto de criterios seleccionados, éstos deben ser priorizados, según su importancia. Para ello se utilizó el método AHP; que permite priorizar los criterios y subcriterios para equipos de laboratorio y mantenimiento de edificaciones por medio de la determinación de los pesos.

Uno de los objetivos de esta etapa es dar una jerarquización general para cada uno de los criterios y subcriterios, el primer paso es la modelación de los criterios y subcriterios (Ver **Figura 3-1**), y su codificación.

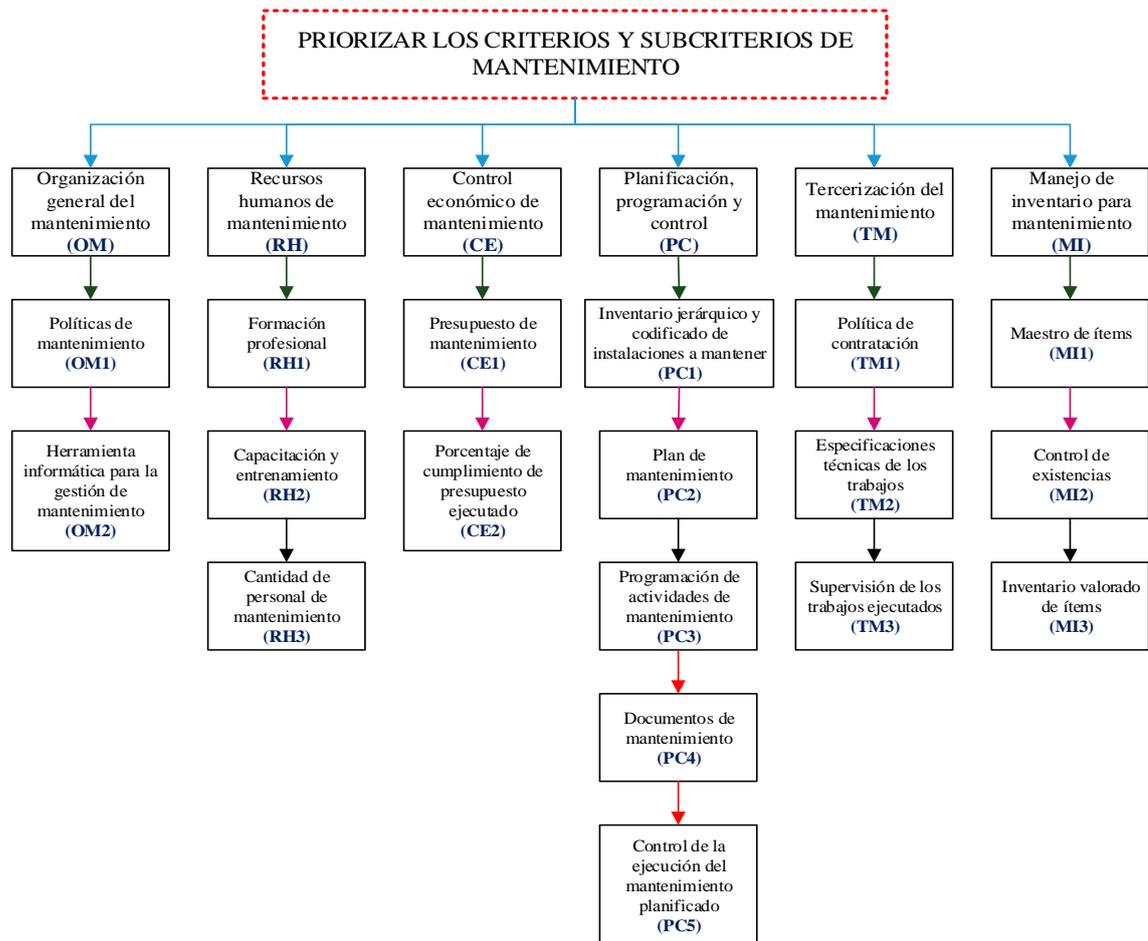


Figura 3-1 Criterios y subcriterios de mantenimiento de edificaciones y equipos de la Facultad de Mecánica

Fuente: Grupo de investigación "Gestión de mantenimiento"

3.1.1.2 Valoración

Se realizó un instrumento de evaluación para poder determinar los pesos de los criterios y subcriterios el cual fue aplicado a especialistas en el área de mantenimiento tales como: docentes, expertos en mantenimiento y administradores de mantenimiento. El número de encuestados es de 30 personas. (Ver **Gráfico 3-1**)

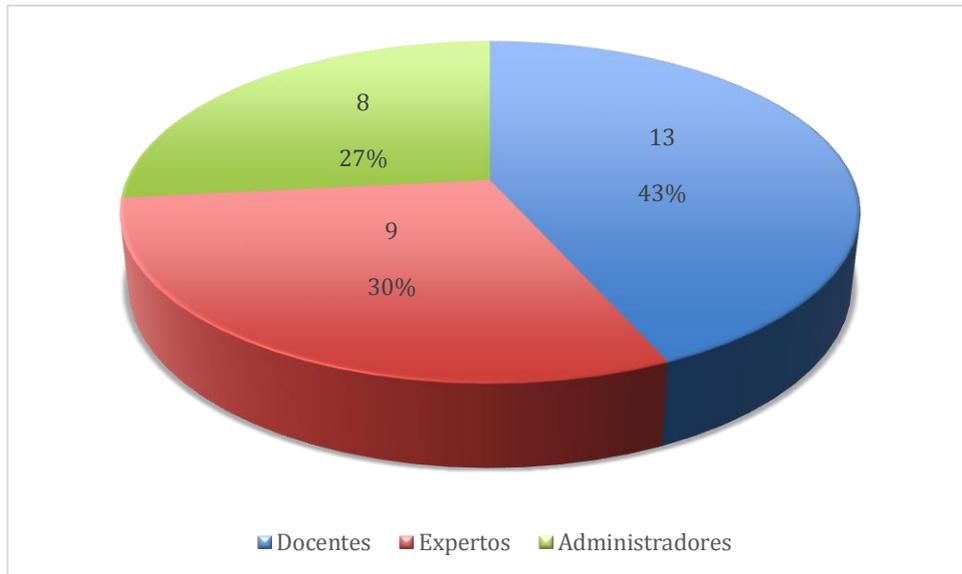


Gráfico 3-1 Grupo de especialistas

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

En la **Tabla 3-2**; **Tabla 3-3** y **Tabla 3-4**, se muestra el listado de los integrantes del grupo de especialistas, nombres, profesión, nivel académico, experiencia profesional y el cargo o actividad principal al momento de realizarle la encuesta.

Tabla 3-2 Información de los encuestados especialistas docentes.

ESPECIALISTAS: DOCENTES	PROFESIÓN	NIVEL ACADÉMICO (PROGRAMA DE MAESTRÍA)	AÑOS DE EXPERIENCIA EJERCICIO PROFESIONAL	ACTIVIDAD PRINCIPAL
Ing. Eduardo Hernández	Ing. De Mantenimiento	Mgs. Gestión de Mantenimiento	14	Docente
Ing. Mónica Orejuela	Ing. De Mantenimiento	Ing. De Mantenimiento	10	Docente

Tabla 3-2 (Continuación) Información de los encuestados especialistas docentes.

Ing. Verónica Chávez	Ing. De Mantenimiento	Maestría en Seguridad Industrial	10	Docente
Ing. Ángel Larrea	Ing. De Mantenimiento	Mgs. Gestión de Mantenimiento	5	Docente
Ing. Ángel Ramírez	Ing. De Mantenimiento	Mgs. Gestión de Mantenimiento	30	Docente
Ing. Sergio Villacrés	Ing. Mecánico	Mgs. Gestión de Mantenimiento	24	Docente
Ing. César Gallegos	Ing. De Mantenimiento	Mgs. Gestión de Mantenimiento	20	Docente
Ing. Mayra Viscaíno	Ingeniera Civil	Mgs. Gestión de Mantenimiento	7	Docente
Ing. César Arregui	Ing. Mecánico	Mgs. Gestión de Mantenimiento	15	Docente
Ing. Alex Tenicota	Ing. De Mantenimiento	Mgs. Gestión de Mantenimiento Industrial	6	Docente
Ing. Stalin Nuela	Ing. Industrial	Mgs. Gestión de Mantenimiento Industrial / Mgs. Seguridad Salud Y Ambiente Laboral	11	Docente
Ing. César Astudillo	Ingeniero Eléctrico		33	Docente
Dr. Marco Haro	Dr. Informático Educativo	Docencia e Investigación Universitaria	30	Docente

Fuente: Grupo de investigación “Gestión del mantenimiento”

Tabla 3-3 Información de los encuestados especialistas, expertos en mantenimiento.

ESPECIALISTAS: EXPERTO EN MANTENIMIENTO	PROFESIÓN	NIVEL ACADÉMICO (PROGRAMA DE MAESTRÍA)	AÑOS DE EXPERIENCIA EJERCICIO PROFESIONAL	ACTIVIDAD PRINCIPAL
Ing. José Zavala	Ing. De Mantenimiento	Ing. Mantenimiento	5	Supervisor de Mantenimiento
Ing. Mario Viera	Ing. De Mantenimiento	Mgs. Gestión de Mantenimiento Industrial	10	Administrador
Ing. Oswaldo Quintana	Mecánico	Tercer Nivel	6	Mecánico
Ing. Danny LLamuca	Ing. De Mantenimiento	Tercer Nivel	2	Técnico de Mantenimiento
Ing. Pablo Moreno	Ing. De Mantenimiento	Tercer Nivel	10	Gerencia Mantenimiento
Ing. Julio López	Ing. De Mantenimiento	Mgs. Elaboración de Proyectos	9	Consultor senior
Ing. Hernán Suntasig	Ing. Electromecánico	Ing. Electromecánico	8	Técnico de Mantenimiento
Ing. Mario Gualotuña	Ing. Eléctrico	Ing. Eléctrico	8	Técnico de Mantenimiento

Fuente: Grupo de investigación “Gestión del mantenimiento”

Tabla 3-4 Información de los encuestados especialistas, administradores de mantenimiento.

ESPECIALISTAS: ADMINISTRADORES DE MANTENIMIENTO	PROFESIÓN	NIVEL ACADÉMICO (PROGRAMA DE MAESTRÍA)	AÑOS DE EXPERIENCIA EJERCICIO PROFESIONAL	ACTIVIDAD PRINCIPAL
Arq. Irina Tinoco	Arquitecta	MGS. Intervención Sostenible en el Medio Construido	14	Administrador DMDF
Ing. Mónica (Departamento de DMDF)	Ingeniera Civil	Ingeniera Civil	6	Especialista en Mantenimiento

Tabla 3-4 (Continuación) Información de los encuestados especialistas, administradores de mantenimiento.

Isaías Alfredo Grazón del Salto	Ingeniero Civil	Mgs. Riesgos Laborales, Prevención y Salud Organizacional	25	Administrador de Mantenimiento
Ing. Fabián Marcelo Fierro	Ing. Administración de Empresas	Ing. Administración de Empresas	10	Administrador Universidad UNIANDES
Ing. Cristian Martínez Altamirano	Director de Talleres GAD Tena	Ingeniero Mecánico	3	Administrador de Talleres GAD Tena
Ing. Miguel Ángel Malavé	Ing. Finanzas	Ing. Finanzas	17	Administrador Colegio Chiriboga
Patricio Fernando Haro Arteaga	Ingeniero Industrial	Tercer nivel	19	Administrador de Mantenimiento
Ing. José Luis Gómez	Ing. Civil	Ing. Civil	4	Líder del departamento de obras publicas
Ing. Bolívar Vallejo	Ing. Civil	Ing. Civil	28	Técnico Servicios Generales/ GAD Municipal

Fuente: Grupo de investigación “Gestión del mantenimiento”

Los especialistas encuestados dieron una valorización a cada criterio y subcriterio con una valorización del 1 al 9 según su experiencia

3.1.2 Determinación de las ponderaciones de los criterios

La ponderación se realiza mediante el instrumento de valoración dirigida al grupo de encuestados, que, de acuerdo a su experticia en el campo docente, administrativo y profesional en la industria, puntuarán, permitiendo tabular sus respuestas (Ver **Figura 3-2**); y así ponderar o pesar los criterios que ayudarán a la evaluación de la gestión del mantenimiento en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

El instrumento matriz de comparación pareada de criterios consta también de los subcriterios (ver **Figura 3-3**; **Figura 3-4**) (ver el instrumento completo en el **Anexo A**).

MATRIZ DE COMPARACIÓN PAREADA DE CRITERIOS DE MANTENIMIENTO																					
CRITERIOS DE MANTENIMIENTO		Importancia								Igual	Importancia								CRITERIOS DE MANTENIMIENTO		
		Extrema		Muy fuerte		Fuerte		Moderada			Moderada		Fuerte		Muy fuerte		Extrema				
		9	8	7	6	5	4	3	2		2	3	4	5	6	7	8	9			
OM	Organización general del mantenimiento																		RH	Recursos humanos de mantenimiento	
																				CE	Control económico del mantenimiento
																				PC	Planificación, programación y control
																				TM	Tercerización del mantenimiento
																				MI	Manejo de inventario para mantenimiento
RH	Recursos humanos de mantenimiento																		CE	Control económico del mantenimiento	
																			PC	Planificación, programación y control	
																			TM	Tercerización del mantenimiento	
																			MI	Manejo de inventario para mantenimiento	
CE	Control económico del mantenimiento																		PC	Planificación, programación y control	
																			TM	Tercerización del mantenimiento	
																			MI	Manejo de inventario para mantenimiento	
PC	Planificación, programación y control																		TM	Tercerización del mantenimiento	
																			MI	Manejo de inventario para mantenimiento	
TM	Tercerización del mantenimiento																		MI	Manejo de inventario para mantenimiento	

Figura 3-2 Instrumento para la valoración de criterios.

Fuente: Grupo de investigación "Gestión del mantenimiento"

MATRIZ DE COMPARACIÓN PAREADA DE SUB-CRITERIOS DE ORGANIZACIÓN DE MANTENIMIENTO																			
SUB-CRITERIOS DE ORGANIZACIÓN DE MANTENIMIENTO		Importancia							Igual	Importancia							CRITERIOS DE MANTENIMIENTO		
		Extrema		Muy fuerte		Fuerte		Moderada		Moderada		Fuerte		Muy fuerte		Extrema			
		9	8	7	6	5	4	3		2	1	2	3	4	5	6			7
OM1	Políticas de mantenimiento																	OM2	Herramienta informática para la gestión de mantenimiento

Figura 3-3 Matriz de comparación pareada de subcriterios de organización de mantenimiento

Fuente: Grupo de investigación “Gestión del mantenimiento”

MATRIZ DE COMPARACIÓN PAREADA DE SUB-CRITERIOS DE RECURSOS HUMANOS DE MANTENIMIENTO																			
SUB-CRITERIOS DE RECURSOS HUMANOS DE MANTENIMIENTO		Importancia							Igual	Importancia							SUB-CRITERIOS DE RECURSOS HUMANOS DE MANTENIMIENTO		
		Extrema		Muy fuerte		Fuerte		Moderada		Moderada		Fuerte		Muy fuerte		Extrema			
		9	8	7	6	5	4	3		2	1	2	3	4	5	6			7
RH1	Formación profesional																	RH2	Capacitación y entrenamiento
																			RH3
RH2	Capacitación y entrenamiento																	RH3	Cantidad de personal de mantenimiento

Figura 3-4 Matriz de comparación pareada de subcriterios de recursos humanos de mantenimiento

Fuente: Grupo de investigación “Gestión del mantenimiento”

Procedimiento para realizar la encuesta

Hacer que el encuestado según su criterio y experiencia ordene de mayor a menor importancia los siguientes criterios; Organización general del mantenimiento, Recursos humanos de mantenimiento, Control económico de mantenimiento, Planificación, programación y control, Tercerización de mantenimiento, Manejo de inventario para mantenimiento, esto con el fin de evitar desde la entrevista inconsistencias ya que así se le puede anunciar que alguna respuesta es contradictoria.

Luego, según su criterio y experiencia puntúe del 1 al 9, la importancia del criterio de Organización general del mantenimiento vs el criterio Recursos humanos de mantenimiento.

Y así seguidamente se hace la encuesta y puntuación del criterio de Organización general del mantenimiento vs los demás criterios.

Es importante realizar este procedimiento para todos los criterios subsiguientes de tal manera que se obtenga la información total de la encuesta.

Así también este procedimiento es válido para la encuesta de los sub criterios.

Una vez completada la encuesta con la información entregada por cada uno de los 30 miembros del grupo de especialistas se procedió con la tabulación de datos en hojas de Excel, cada una de las encuestas; para formar la matriz de comparación pareada como se muestra en la **Figura 3-5**.

DOC8	OM	RH	CE	PC	TM	MI
OM	1	4	3	3	4	4
RH	1/4	1	1/2	2	2	3
CE	1/3	2	1	2	3	3
PC	1/3	1/2	1/2	1	2	3
TM	1/4	1/2	1/3	1/2	1	2
MI	1/4	1/3	1/3	1/3	1/2	1

Figura 3-5 Ejemplo de matriz de comparación pareada

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Como resultado de los cálculos realizados se obtuvieron, la ponderación de los criterios de mantenimiento que se mostrarán más adelante.

3.1.3 Reciprocidad de la matriz de comparación pareada

En la matriz de comparación pareada que se indica, el encuestado contestó, que un criterio no es igual a otro, por consecuente deberá elegir cuál es el más importante y asignarle un valor del uno al nueve. Por ejemplo, en la **Figura 3-6** se comparó el criterio OM (Organización de mantenimiento) vs el criterio PC (Planificación, programación y control) para lo cual el encuestado decidió que los dos criterios no son iguales, el más importante es el OM dándole un valor de importancia de tres. La propiedad de la matriz de reciprocidad establece que si $a_{ij}=x$ entonces $a_{ji}=1/x$.

DOC8	OM	RH	CE	PC	TM	MI
OM	1	4	3	3	4	4
RH	1/4	1	1/2	2	2	3
CE	1/3	2	1	2	3	3
PC	1/3	1/2	1/2	1	2	3
TM	1/4	1/2	1/3	1/2	1	2
MI	1/4	1/3	1/3	1/3	1/2	1

Figura 3-6 Propiedad de reciprocidad de la matriz de comparación pareada

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

3.1.4 Homogeneidad de la matriz de comparación pareada

En esta matriz se establece que, si los dos criterios evaluados por el encuestado son iguales, se le otorgará un valor de uno. Por ejemplo, en la **Figura 3-7** se comparó el criterio OM (Organización de mantenimiento) vs CE (Control económico de mantenimiento) obteniendo como resultado que éstos dos criterios son iguales, asignándole el valor de uno.

DOC1	OM	RH	CE	PC	TM	MI
OM	1	5	1	1	3	3
RH	1/5	1	1/3	1/3	2	2
CE	1	3	1	1	3	3
PC	1	3	1	1	2	2
TM	1/3	1/2	1/3	1/2	1	1
MI	1/3	1/2	1/3	1/2	1	1

Figura 3-7 Propiedad de homogeneidad de la matriz de comparación pareada

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

3.1.5 Consistencia de la matriz de comparación pareada

Esta propiedad permite determinar las inconsistencias de las comparaciones determinadas por el encuestado. El grado de consistencia se establece a través del cálculo del Ratio de Consistencia (RC) siendo este menor al diez por ciento (10%); con el cual se obtendrá un valor razonable de consistencia.

Para mostrar el ejemplo de cálculo del valor de RC, se tomó el resultado de un encuestado, se procedió a la elaboración de la matriz de comparación parada aplicando las propiedades de reciprocidad y homogeneidad como se observa en la **Figura 3-8**

DOC8	OM	RH	CE	PC	TM	MI
OM	1	4	3	3	4	4
RH	1/4	1	1/2	2	2	3
CE	1/3	2	1	2	3	3
PC	1/3	1/2	1/2	1	2	3
TM	1/4	1/2	1/3	1/2	1	2
MI	1/4	1/3	1/3	1/3	1/2	1
TOTAL	2,42	8,33	5,67	8,83	12,50	16,00

Figura 3-8 Matriz de comparación pareada
Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Para la obtención de la matriz normalizada (Ver **Figura 3-9**), se parte de la matriz de comparación pareada, de la que se obtuvo la sumatoria de cada columna y por consiguiente se divide cada celda para la sumatoria correspondiente a cada columna.

DOC8	OM	RH	CE	PC	TM	MI
OM	0,4138	0,4800	0,5294	0,3396	0,3200	0,2500
RH	0,1034	0,1200	0,0882	0,2264	0,1600	0,1875
CE	0,1379	0,2400	0,1765	0,2264	0,2400	0,1875
PC	0,1379	0,0600	0,0882	0,1132	0,1600	0,1875
TM	0,1034	0,0600	0,0588	0,0566	0,0800	0,1250
MI	0,1034	0,0400	0,0588	0,0377	0,0400	0,0625

Figura 3-9 Matriz normalizada
Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Al obtener la matriz normalizada se obtuvo la matriz promedio con el cálculo del promedio de cada fila de la matriz normalizada, la suma de la matriz promedio debe dar como resultado (1). (Ver **Figura 3-10**)

MATRIZ NORMALIZADA							MATRIZ PROMEDIO
DOC8	OM	RH	CE	PC	TM	MI	
OM	0,4138	0,4800	0,5294	0,3396	0,3200	0,2500	0,40
RH	0,1034	0,1200	0,0882	0,2264	0,1600	0,1875	0,15
CE	0,1379	0,2400	0,1765	0,2264	0,2400	0,1875	0,20
PC	0,1379	0,0600	0,0882	0,1132	0,1600	0,1875	0,12
TM	0,1034	0,0600	0,0588	0,0566	0,0800	0,1250	0,08
MI	0,1034	0,0400	0,0588	0,0977	0,0400	0,0625	0,06
							Σ 1,00

Figura 3-10 Matriz promedio

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

El producto de la matriz promedio con la matriz de comparación pareada da como resultado la matriz vector fila total, como se muestra en la **Figura 3-11**.

DOC8	OM	RH	CE	PC	TM	MI	MATRIZ PROMEDIO	VECTOR FILA TOTAL
OM	1	4	3	3	4	4	0,39	2,51
RH	1/4	1	1/2	2	2	3	0,15	0,93
CE	1/3	2	1	2	3	3	0,20	1,29
PC	1/3	1/2	1/2	1	2	3	0,12	0,76
TM	1/4	1/2	1/3	1/2	1	2	0,08	0,50
MI	1/4	1/3	1/3	1/3	1/2	1	0,06	0,35

Figura 3-11 Vector fila total

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Al determinar la matriz promedio y el vector fila, se obtendrá el vector cociente, resultado que se obtuvo al dividir la celda correspondiente del vector final total con la celda correspondiente de la matriz promedio. (Ver **Figura 3-12**)

	VECTOR COCIENTE
	6,45
	6,28
	6,40
	6,11
	6,14
	6,17
λ máx =	6,26

Figura 3-12 Vector cociente

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

El λ_{max} se obtuvo del promedio del vector cociente.

Luego procede a calcular el CI, para el caso de este trabajo, las matrices son de dimensión seis (6) n=6.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{6,26 - 6}{6 - 1} = 0,052 \quad (4)$$

El siguiente paso es determinar el IR para el cual se debe conocer el Índice de Consistencia Aleatoria (RI), que está determinado en la tabla de valores para matrices de diferentes dimensiones. En este estudio las matrices son de dimensión seis (6) y el valor que le corresponde es de 1,25.

Conociendo todas las variables se procede a calcular el valor de IR con la siguiente fórmula.

$$IR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,052}{1,25} = 0,041 \quad (5)$$

El valor de IR cumple con la condición establecida, menor o igual al diez por ciento (10%)

En la **Figura 3-13** se establece los Ratios de consistencia de los encuestados.

ESPECIALISTAS DOCENTES	RATIOS DE CONSISTENCIA												
	DOC1	DOC2	DOC3	DOC4	DOC5	DOC6	DOC7	DOC8	DOC9	DOC10	DOC11	DOC12	DOC13
	0,0347	0,0794	0,0901	0,097	0,0811	0,0361	0,0884	0,0414	0,0828	0,0934	0,1024	0,0519	0,091
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 ADMINISTRADOR ES DE MANTENIMIENTO	RATIOS DE CONSISTENCIA												
	ADM1	ADM2	ADM3	ADM4	ADM5	ADM6	ADM7	ADM8	ADM9				
	0,0883	0,063	0,0598	0,0854	0,0914	0,0933	0,0923	0,0847	0				

Figura 3-13 Ratios de consistencia de los encuestados

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Una vez verificado el grado de consistencia requerido para las matrices de comparación pareada, se determinaron los pesos para los criterios y subcriterios, por consiguiente, se debe calcular el vector propio de la matriz de comparación pareada, el cual se obtuvo multiplicando el número de veces que sea necesarias por sí misma, hasta que su resultado coincida con las cuatro primeras cifras del vector obtenido anteriormente con las cifras del vector resultante de la multiplicación posterior.

En la **Figura 3-14**, se puede observar el cálculo de los vectores propios realizados para los encuestados, en el cual se obtuvo las ponderaciones que determinó la importancia de cada criterio, el mismo que se cumple en la cuarta multiplicación.

Una vez determinados los vectores propios del grupo No. 1: especialistas docentes, se obtuvieron los valores de agregación, mediante la media geométrica y luego se realiza la normalización. Se identificó que la Organización general del Mantenimiento es el criterio más importante para este grupo.

El mismo procedimiento se realizó para la determinación de pesos de los criterios por grupo de encuestados (grupo No. 2 y el grupo No. 3) (ver **Anexo C**).

Es así, que de la **Tabla 3-5** de resultados de ponderaciones, se realizó el diagrama de barras (ver **Gráfico 3-2**) que muestra gráficamente los resultados de la priorización de los criterios de mantenimiento

Tabla 3-5 Resultado de ponderación de criterios

CRITERIOS DE MANTENIMIENTO JERARQUIZADOS		DOCENTES	ESPECIALISTAS	ADMINISTRADORES	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	0,9935841	1	100%

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

MATRIZ DE COMPARACION PAREADA

DOC8	OM	RH	CE	PC	TM	MI
OM	1	4	3	3	4	4
RH	1/4	1	1/2	2	2	3
CE	1/3	2	1	2	3	3
PC	1/3	1/2	1/2	1	2	3
TM	1/4	1/2	1/3	1/2	1	2
MI	1/4	1/3	1/3	1/3	1/2	1
TOTAL	2,42	8,33	5,67	8,83	12,50	16,00

PRIMER PRODUCTO

DOC8	OM	RH	CE	PC	TM	MI
OM	6,00	18,83	12,17	23,33	33,00	46,00
RH	2,58	6,00	4,42	7,75	12,00	18,50
CE	3,33	8,83	6,00	11,50	16,83	25,33
PC	2,21	5,33	3,92	6,00	9,33	14,33
TM	1,40	3,58	2,58	4,08	6,00	9,00
MI	0,93	2,75	1,92	3,00	4,33	6,00

VECTOR SUMA

139,33
51,25
71,83
41,13
26,65
18,93
349,13

VECTOR PROPIO

0,39909297
0,14679556
0,20575248
0,11779449
0,07634165
0,05422286
1

TERCER PRODUCTO

DOC8	OM	RH	CE	PC	TM	MI
OM	406076,70	1079998,00	756993,08	1290806,67	1910655,48	2820088,63
RH	148850,87	395888,58	277485,01	473162,08	700372,35	1033728,84
CE	207407,08	551622,71	386642,86	659293,77	975885,88	1440382,51
PC	122751,41	326473,77	228830,55	390200,53	577572,76	852480,66
TM	80067,26	212948,76	149259,28	254516,11	376733,85	556049,14
MI	57284,36	152353,69	106787,44	182093,47	269534,74	397827,39

VECTOR SUMA

8264618,56
3029487,73
4221234,82
2498309,67
1629574,40
1165881,09
20809106,27

VECTOR PROPIO

0,397163552
0,145584711
0,202855172
0,12005848
0,078310639
0,056027447
1

CUARTO PRODUCTO

DOC8	OM	RH	CE	PC	TM	MI
OM	955638918293,68	2541632618750,36	1781475572076,29	3037747200167,97	4496467474694,60	6636671506854,27
RH	350300289822,61	931664278164,41	653020086642,73	1113520707745,65	1648231177516,56	2432747251915,77
CE	488102314230,48	1298164755962,38	909906799357,12	1551560333170,65	2296616575833,12	3389747591119,91
PC	288879609876,44	768308851099,43	538521358250,39	918279079390,17	1359234900420,21	2006196105139,07
TM	188427667488,35	501145251422,27	351261632728,75	598966417554,69	886588921814,90	1308582674900,60
MI	134810722314,58	358544762711,13	251310410303,68	428530992653,97	634310738645,40	936226499876,35

VECTOR SUMA

19449633290837,20
7129483791807,72
9934098369673,66
5879419904175,71
3834972565909,55
2743734126505,11
48971342048908,90

VECTOR PROPIO

0,39716358	40%
0,14558482	15%
0,20285534	20%
0,12005838	12%
0,07831055	8%
0,05602734	6%
1	100%

Figura 3-14 Vector propio de una matriz de comparación pareada

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

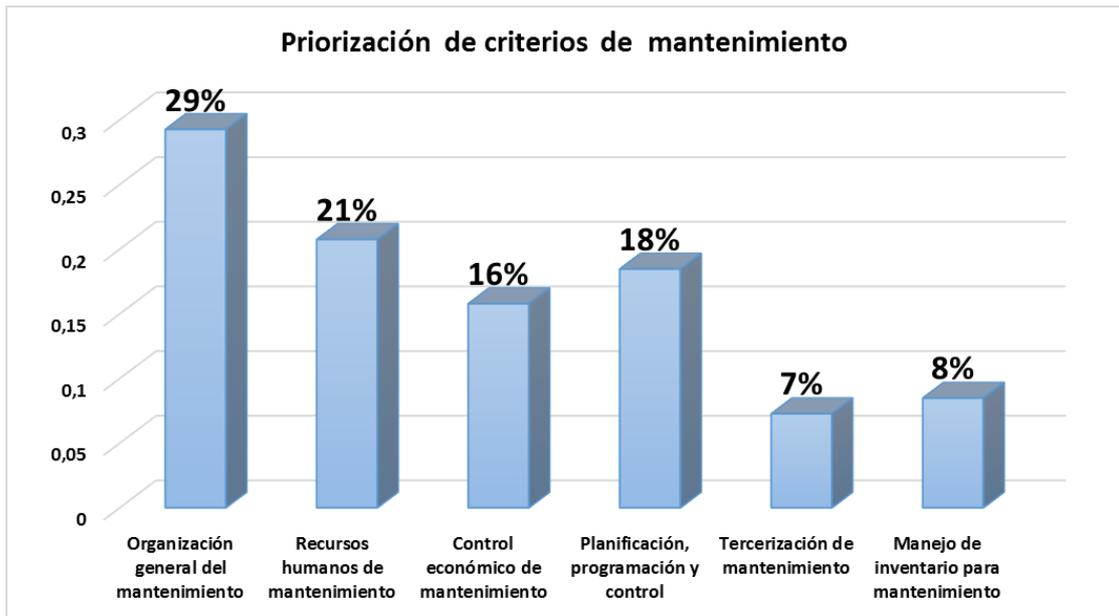


Gráfico 3-2 Criterios priorizados

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

3.1.6 Priorización de criterios aplicando el método AHP.

Como se observa en la **Tabla 3-6** el resultado de aplicar el método AHP, criterios de mantenimiento de edificios priorizados.

Se puede observar que el criterio de Organización general de mantenimiento es el criterio con mayor peso, con un 29 %, mientras que el criterio con el menor peso es el criterio de Tercerización de mantenimiento con un peso de 7 %.

En **Gráfico 3-3**, se encuentra la comparación de los resultados de priorización de todos los especialistas para con los seis criterios de mantenimiento de edificios.

En la cual se detalla cada uno de los porcentajes de los pesos de los criterios evaluados a los treinta encuestados distribuidos en los grupos de especialistas, docentes, y administradores, detallando la diferencia de la priorización de los criterios para cada grupo.

Tabla 3-6 Priorización de criterios de mantenimiento de edificios.

REQUERIMIENTOS		PESO	SUBCRITERIOS DE EVALUACIÓN	
OM	Organización general del mantenimiento	29%	OM1	Políticas de mantenimiento
			OM2	Políticas de mantenimiento
RH	Recursos humanos de mantenimiento	21%	RH1	Formación profesional
			RH2	Capacitación y entrenamiento
			RH3	Cantidad de personal de mantenimiento
CE	Control económico de mantenimiento	16%	CE1	Presupuesto de mantenimiento
			CE2	Porcentaje de cumplimiento de presupuesto ejecutado
PC	Planificación, programación y control	18%	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	Tercerización de mantenimiento	7%	TM1	Política de contratación
			TM2	Especificaciones técnicas de los trabajos
			TM3	Supervisión de los trabajos de mantenimiento
MI	Manejo de inventario para mantenimiento	8%	MI1	Maestro de ítems
			MI2	Control de existencias
			MI3	Inventario valorado de ítems
		100%		

Fuente: Grupo de investigación “Gestión del mantenimiento”

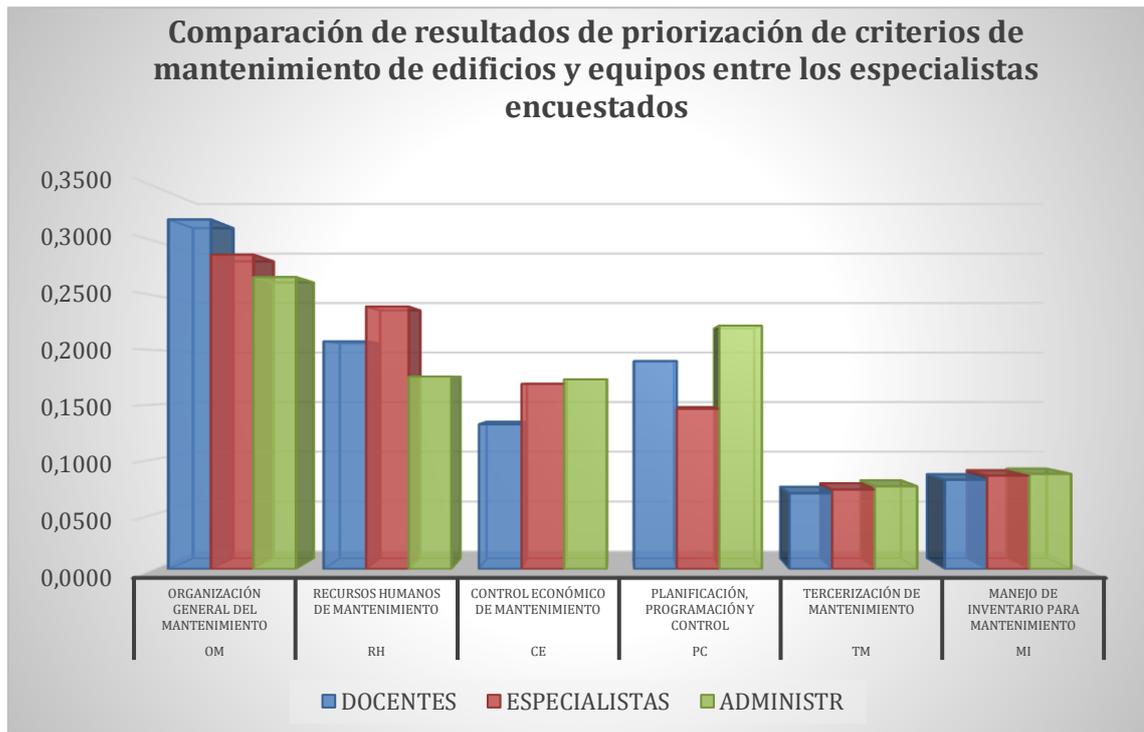


Gráfico 3-3 Comparación de priorización de criterios

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

3.1.7 Determinación de ponderaciones de subcriterios

Para la determinación de los subcriterios se sigue el mismo procedimiento que se utilizó para encontrar la jerarquización de los criterios los cuales son:

1. Hallar la matriz de comparación pareada y así también el grado de consistencia.
2. Determinar ponderaciones: seguir el mismo procedimiento que se utilizó para encontrar la ponderación de los criterios, con la diferencia que se debe encontrar el peso relativo del criterio principal, se debe multiplicar el peso del criterio principal con el del subcriterio

Discusión de resultados obtenidos en la evaluación.

Se obtuvo que los tres grupos coinciden que entre los criterios expuestos los más importantes son: organización general del mantenimiento, recursos humanos de mantenimiento, la planificación organización y control como se observa en el **Gráfico 3-3**.

En la **Tabla 3-7**, se muestran los resultados de jerarquización obtenidos para cada uno de los criterios y subcriterios.

Tabla 3-7 Criterios y subcriterios de jerarquización.

CRITERIOS DE MANTENIMIENTO JERARQUIZADOS		PESOS
OM	Organización general del mantenimiento	0,2926
OM1	Políticas de mantenimiento	0,146
OM2	Herramienta informática para la gestión de mantenimiento	0,146
RH	Recursos humanos de mantenimiento	0,2075
RH1	Formación profesional	0,091
RH2	Capacitación y entrenamiento	0,078
RH3	Cantidad de personal de mantenimiento	0,039
CE	Control económico de mantenimiento	0,1578
CE1	Presupuesto de mantenimiento	0,079
CE2	Porcentaje de cumplimiento de presupuesto ejecutado	0,079
PC	Planificación, programación y control	0,1846
PC1	Inventario jerárquico y codificado de instalaciones a mantener.	0,041
PC2	Plan de mantenimiento	0,050
PC3	Programación de actividades de mantenimiento	0,034
PC4	Documentos de mantenimiento	0,026
PC5	Control de la ejecución del mantenimiento planificado	0,033
TM	Tercerización de mantenimiento	0,0727
TM1	Política de contratación	0,024
TM2	Especificaciones técnicas de los trabajos	0,024
TM3	Supervisión de los trabajos de mantenimiento	0,025
MI	Manejo de inventario para mantenimiento	0,0848
MI1	Maestro de ítems	0,029
MI2	Control de existencias	0,032
MI3	Inventario valorado de ítems	0,024

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

3.1.8 Evaluación de la planificación de mantenimiento.

La evaluación de gestión de mantenimiento se realizó a los edificios y equipos de: Edificio M11, Edificio M17, Edificio M25, Edificio M26, Edificio M33, Edificio M47 y Edificio M48. La metodología aplicada para la evaluación es de tipo cualitativo, el cual ha sido aplicado a los administrativos de cada edificación, DMDF (Departamento de Mantenimiento y Desarrollo Físico) y a los técnicos docentes encargados de cada laboratorio, dándose valores a cada criterio y subcriterio para ver si cumple con los requerimientos.

Los niveles de referencia para la valoración (ver **Figura 3-15**) son:

Deficiente = 0

Poco satisfactorio = 0.35

Casi satisfactorio = 0.7

Satisfactorio = 1.

3.1.9 Aplicación del instrumento de evaluación de la gestión de mantenimiento

Para evaluar la gestión se utilizó el instrumento donde se obtuvo los resultados de la evaluación para el Departamento de Mantenimiento y Desarrollo Físico (DMDF) (ver **Anexo B**), en el cual se muestra el nivel de cumplimiento de cada subcriterio, para conocer el estado de cada criterio en la gestión de mantenimiento como se muestra en la **Tabla 3-5**, para asignar un valor se evalúan evidencias, tales como documentación técnica ya sea impresa o digital para demostrar el cumplimiento de cada criterio la cual fue presentada por los encargados de cada laboratorio y administrativos de las edificaciones.

La primera evaluación se realizó al Departamento de Mantenimiento y Desarrollo Físico (DMDF), porque es el departamento encargado de realizar el mantenimiento de la infraestructura civil de los edificios. En la **Tabla 3-8** y el **Gráfico 3-4**, se muestra el nivel desempeño que tiene la gestión de mantenimiento en el Departamento de Mantenimiento y Desarrollo Físico (DMDF), donde se pueden observar los valores obtenidos.

INSTRUMENTO PARA EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DE EDIFICIOS UNIVERSITARIOS

1. REQUERIMIENTO OM: Organización general del mantenimiento

1.1 **OM1:** Políticas de mantenimiento

Tabla 1: Descripción del criterio de evaluación: políticas de mantenimiento.

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

Figura 3-15 Instrumento de evaluación para edificaciones y equipos

Fuente: Grupo de investigación “Gestión del mantenimiento”

Tabla 3-8 Nivel de desempeño de la gestión de mantenimiento en el (DMDF)

DESCRIPCIÓN DEL NIVEL DE CUMPLIMIENTO	TABLA DE COMPARACIÓN	
	VALORES DE UMBRAL DE DESEMPEÑO	VALORES OBTENIDOS
DEFICIENTE	0	0,00
POCO SATISFACTORIO	35	28,79
CUASI SATISFACTORIO	70	48,66
SATISFACTORIO	100	37,18

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

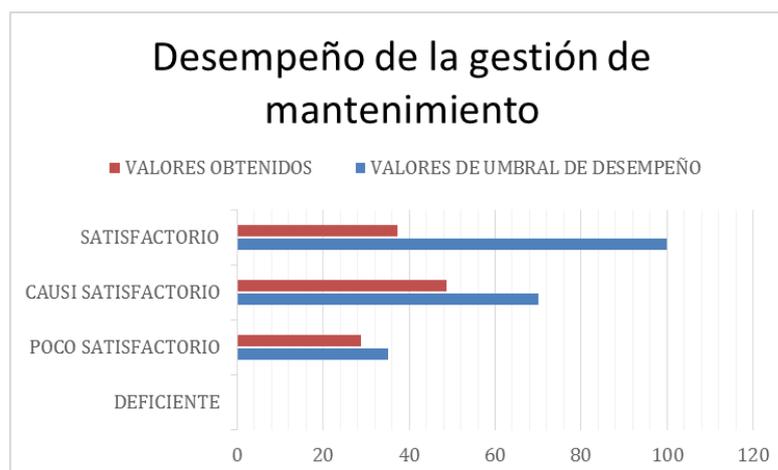


Gráfico 3-4 Nivel de desempeño de la gestión de mantenimiento (DMDF)

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

En la **Tabla 3-9** se muestra los resultados obtenidos de la evaluación.

Tabla 3-9 Valoración de cada requerimiento y nivel exigido de la gestión de mantenimiento (DMDF)

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	9,00	3,86	10%
Control económico de mantenimiento	16%	0,00	5,52	11,05	7,89	12%
Planificación, programación y control	18%	0,00	6,36	9,25	2,60	9%
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%
TOTAL						56%

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

En el **Gráfico 3-5** se muestra un diagrama de radar, que indica el nivel de cumplimiento de cada uno de los criterios de mantenimiento.

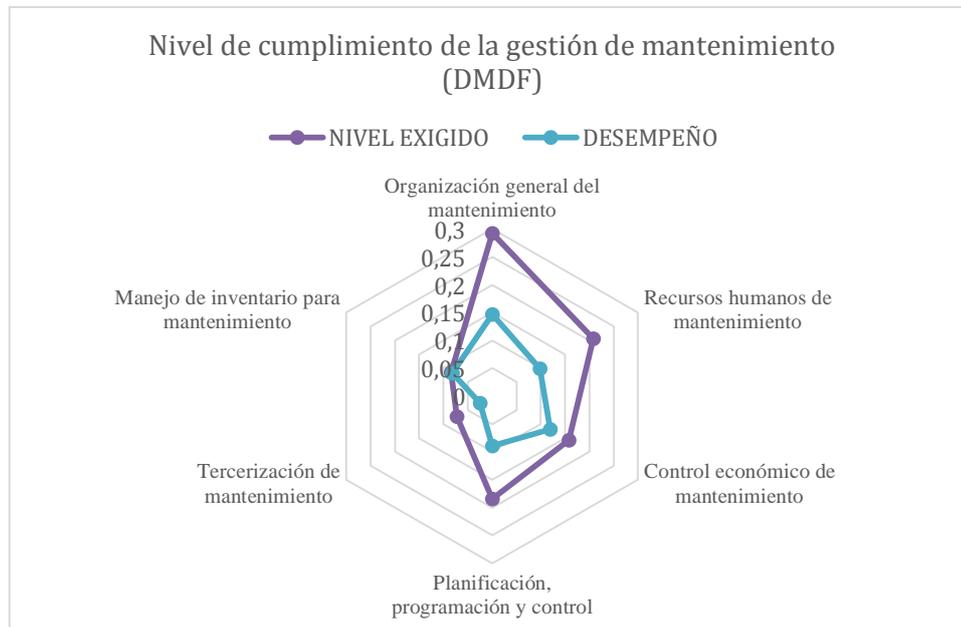


Gráfico 3-5 Nivel de cumplimiento de la gestión de mantenimiento (DMDF)
Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Para la evaluación de los equipos de los laboratorios existentes en cada edificación como son: ML160, ML165, ML170, ML175, ML180, ML185 (ver **Figura 3-16**), se realizó la misma evaluación descrita anteriormente.

CÓDIGO	LABORATORIOS
ML160	LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS
ML165	LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ML170	LABORATORIO DE METROLOGÍA
ML175	LABORATORIO DE CONTROL AUTOMÁTICO E INSTRUMENTACIÓN
ML180	LABORATORIO DE TURBO MAQUINARIA
ML185	TALLER CAD CAM

Figura 3-16 Laboratorios a evaluar
Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

En las **Tabla 3-10; 3-11; 3-12; 3-13; 3-14, 3-15** se muestran los valores obtenidos en la evaluación para cada laboratorio, con sus respectivas gráficas (Ver **Gráfico 3-6; Gráfico 3-7; Gráfico 3-8; Gráfico 3-9, Gráfico 3-10; Gráfico 3-11**) donde se muestra el nivel de desempeño para cada laboratorio de acuerdo con la evaluación de la gestión de mantenimiento.

Tabla 3-10 Valoración de cada requerimiento y nivel exigido del laboratorio ML160

DESCRIPCIÓN DEL NIVEL DE CUMPLIMIENTO	TABLA DE COMPARACIÓN	
	VALORES DE UMBRAL DE DESEMPEÑO	VALORES OBTENIDOS
DEFICIENTE	0	0,00
POCO SATISFACTORIO	35	9,15
CUASI SATISFACTORIO	70	18,30
SATISFACTORIO	100	21,32

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

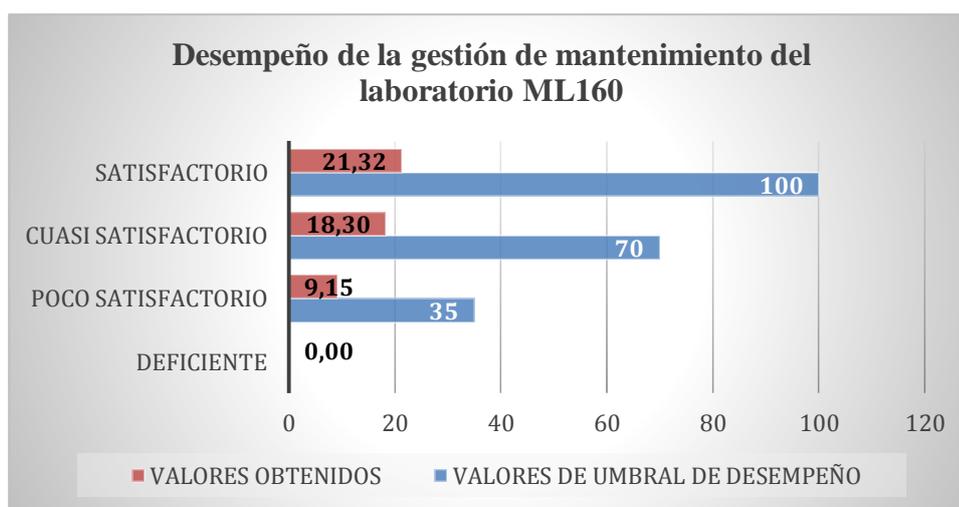


Gráfico 3-6 Desempeño de la gestión de mantenimiento del laboratorio ML160

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Tabla 3-11 Valoración de requerimientos y nivel exigido del laboratorio ML165

DESCRIPCIÓN DEL NIVEL DE CUMPLIMIENTO	TABLA DE COMPARACIÓN	
	VALORES DE UMBRAL DE DESEMPEÑO	VALORES OBTENIDOS
DEFICIENTE	0	0,00
POCO SATISFACTORIO	35	7,46
CUASI SATISFACTORIO	70	14,93
SATISFACTORIO	100	4,04

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

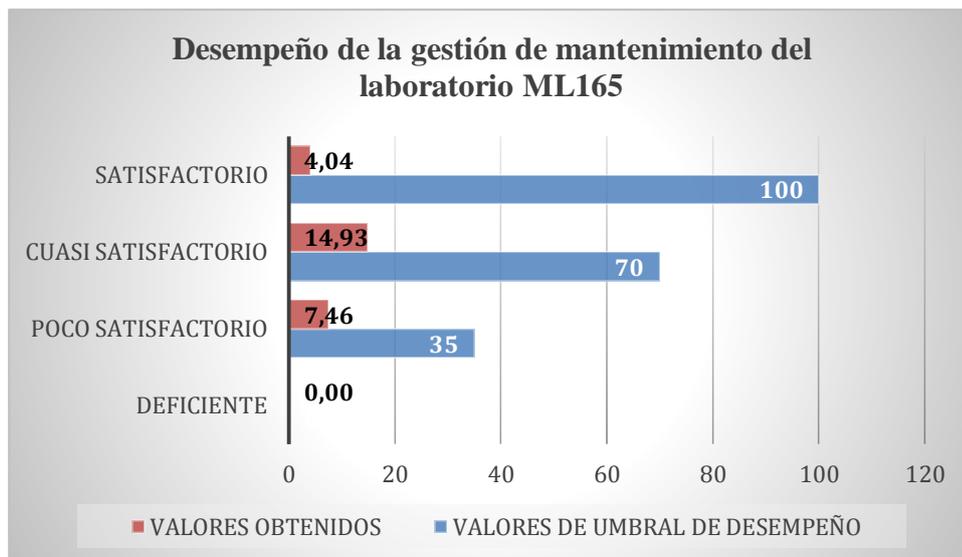


Gráfico 3-7 Desempeño de la gestión de mantenimiento del laboratorio ML165
Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Tabla 3-12 Valoración de requerimientos y nivel exigido del laboratorio ML170

DESCRIPCIÓN DEL NIVEL DE CUMPLIMIENTO	TABLA DE COMPARACIÓN	
	VALORES DE UMBRAL DE DESEMPEÑO	VALORES OBTENIDOS
DEFICIENTE	0	0,00
POCO SATISFACTORIO	35	4,57
CUASI SATISFACTORIO	70	9,13
SATISFACTORIO	100	4,04

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

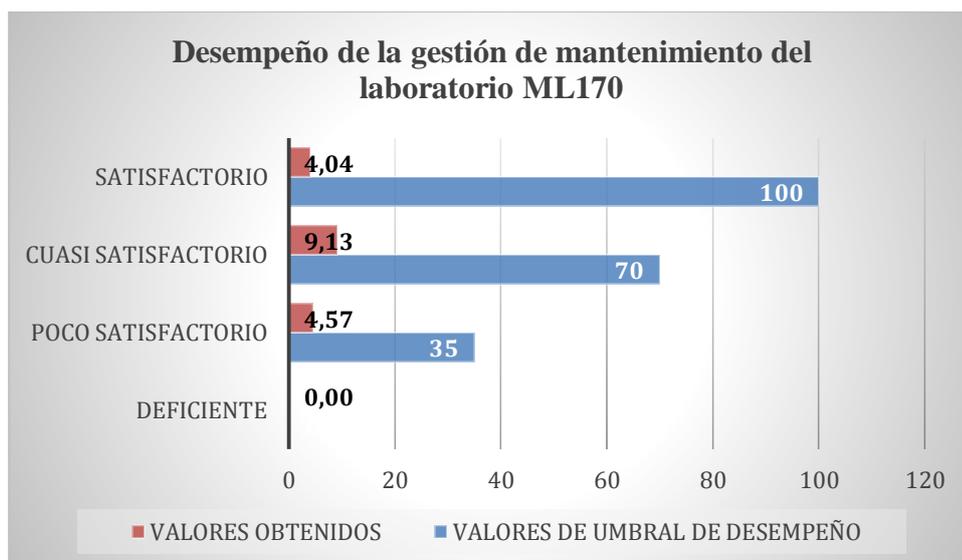


Gráfico 3-8 Desempeño de la gestión de mantenimiento del laboratorio ML170
Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Tabla 3-13 Valoración de requerimientos y nivel exigido del laboratorio ML175

DESCRIPCIÓN DEL NIVEL DE CUMPLIMIENTO	TABLA DE COMPARACIÓN	
	VALORES DE UMBRAL DE DESEMPEÑO	VALORES OBTENIDOS
DEFICIENTE	0	0,00
POCO SATISFACTORIO	35	7,46
CUASI SATISFACTORIO	70	14,93
SATISFACTORIO	100	4,04

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

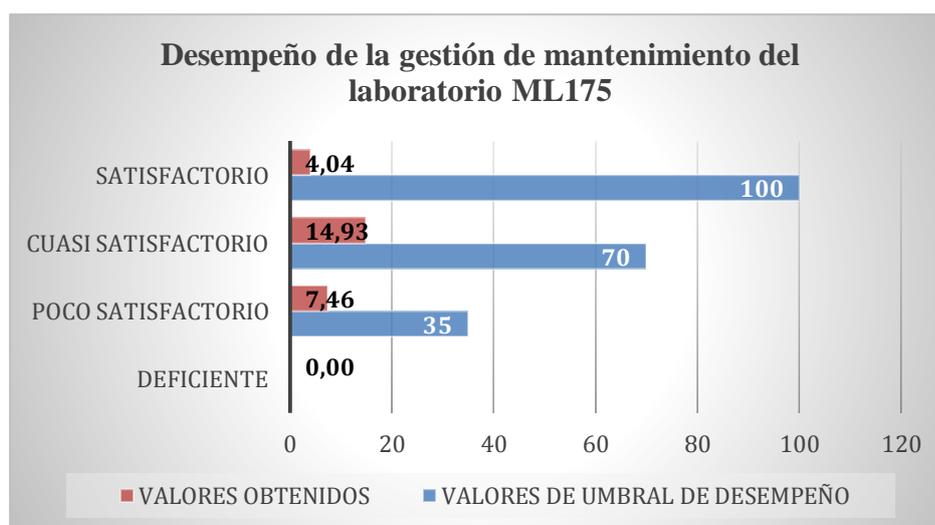


Gráfico 3-9 Desempeño de la gestión de mantenimiento del laboratorio ML175

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Tabla 3-14 Valoración de requerimiento y nivel exigido del laboratorio ML180

DESCRIPCIÓN DEL NIVEL DE CUMPLIMIENTO	TABLA DE COMPARACIÓN	
	VALORES DE UMBRAL DE DESEMPEÑO	VALORES OBTENIDOS
DEFICIENTE	0	0,00
POCO SATISFACTORIO	35	7,46
CUASI SATISFACTORIO	70	14,93
SATISFACTORIO	100	4,04

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

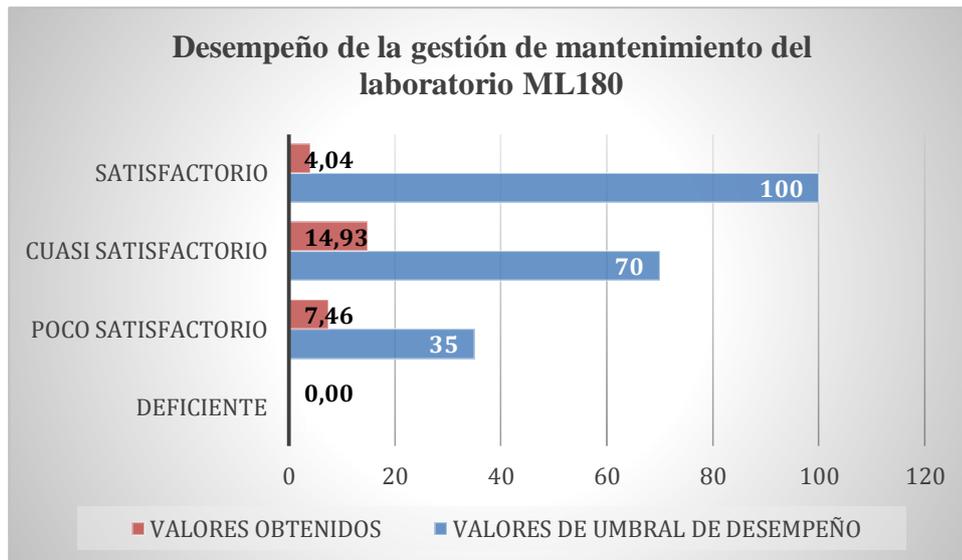


Gráfico 3-10 Desempeño de la gestión de mantenimiento del laboratorio ML180
Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Tabla 3-15 Valoración de requerimiento y nivel exigido del laboratorio ML185

DESCRIPCIÓN DEL NIVEL DE CUMPLIMIENTO	TABLA DE COMPARACIÓN	
	VALORES DE UMBRAL DE DESEMPEÑO	VALORES OBTENIDOS
DEFICIENTE	0	0,00
POCO SATISFACTORIO	35	7,46
CUASI SATISFACTORIO	70	14,93
SATISFACTORIO	100	4,04

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

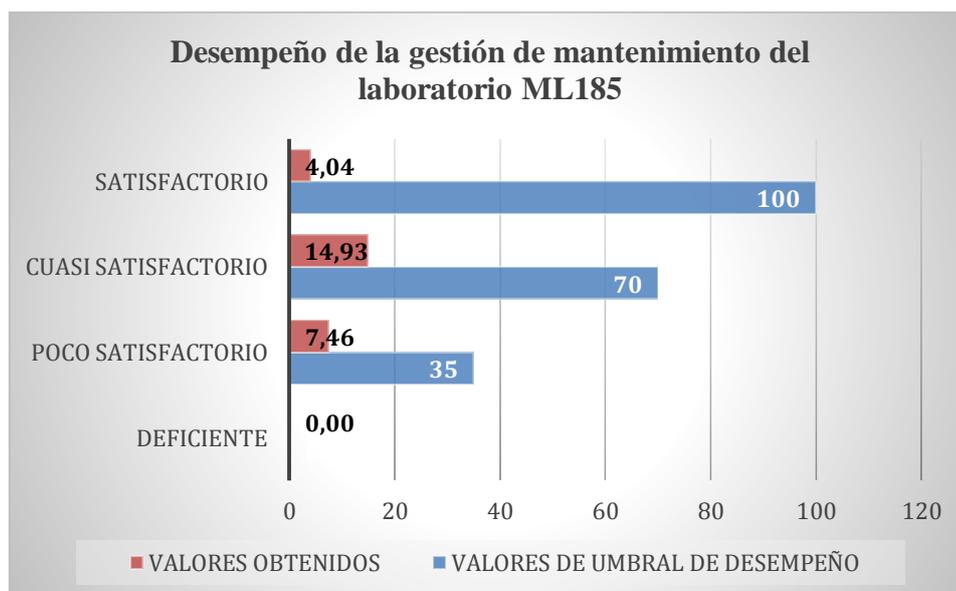


Gráfico 3-11 Desempeño de la gestión de mantenimiento del laboratorio ML185
Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Los valores que se requieren para obtener una buena gestión de mantenimiento y los valores de desempeño de cada laboratorio se muestran en la **Tabla 3-16**, **Tabla 3-17**; **Tabla 3-18**; **Tabla 3-19**; **Tabla 3-20**, **Tabla 3-21** y así también sus respectivas gráficas (Ver **Gráfico 3-12**; **Gráfico 3-13**, **Gráfico 3-14**, **Gráfico 3-15**; **Gráfico 3-16**; **Gráfico 3-17**).

Tabla 3-16 Valoración de cada requerimiento y nivel exigido del laboratorio ML160.

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	1,69	3,37	0,00	2%
Manejo de inventario para mantenimiento	8%	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
TOTAL						24%

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019



Gráfico 3-12 Nivel de cumplimiento del laboratorio ML160

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Tabla 3-17 Valoración de cada requerimiento y nivel exigido del laboratorio ML165

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	0,00	5%
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	4,04	8%
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%
TOTAL						13%

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

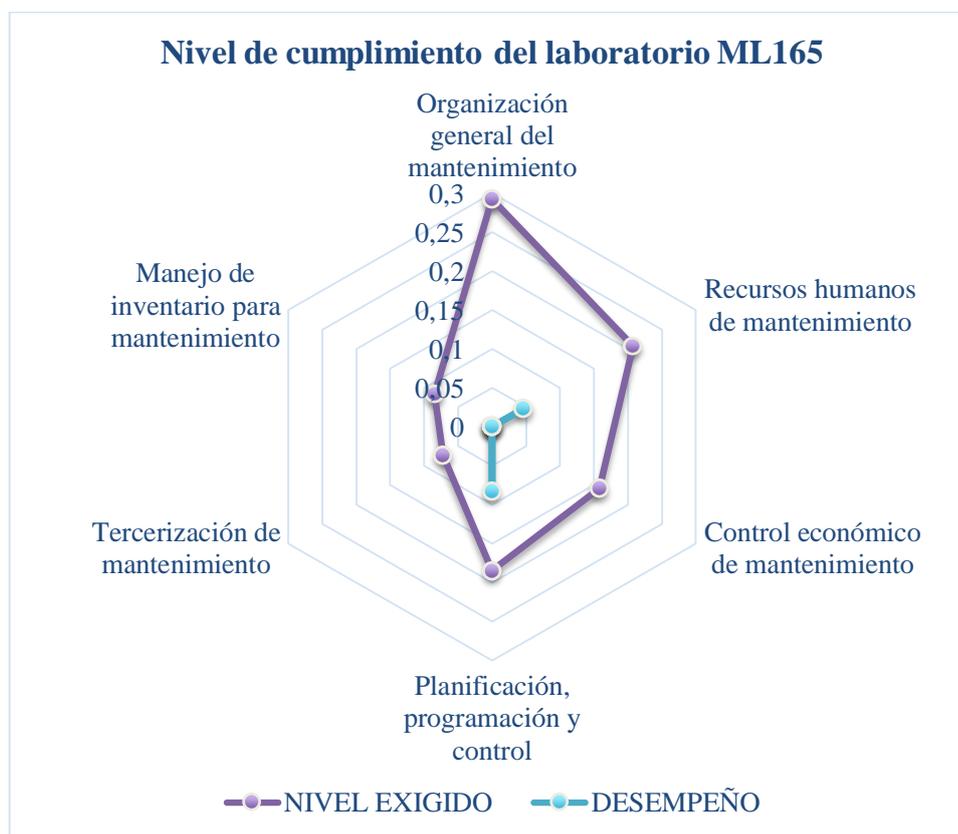


Gráfico 3-13 Nivel de cumplimiento del laboratorio ML165

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Tabla 3-18 Valoración de cada requerimiento y nivel exigido del laboratorio ML170

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	0,00	5%
Control económico de mantenimiento	16%	0,00	0,00	0,00	0,00	0%
Planificación, programación y control	18%	0,00	1,42	2,83	4,04	4%
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%
TOTAL						9%

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

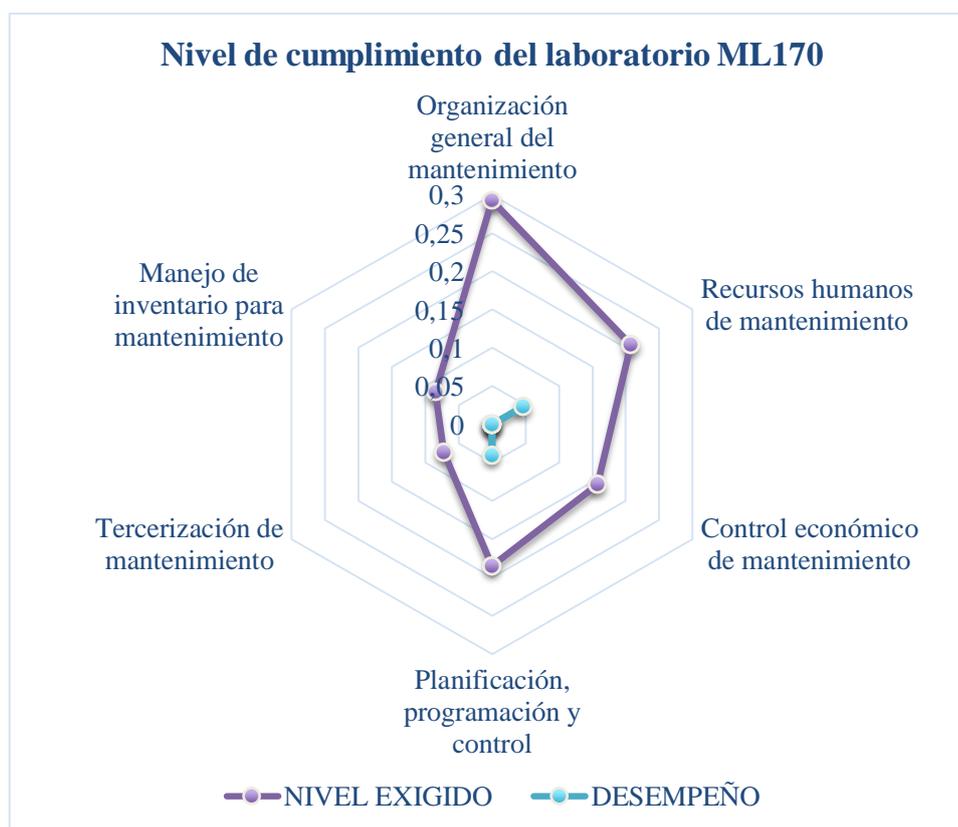


Gráfico 3-14 Nivel de cumplimiento del laboratorio ML170

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Tabla 3-19 Valoración de cada requerimiento y nivel exigido del laboratorio ML175

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	0,00	5%
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	4,04	8%
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%
TOTAL						13%

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

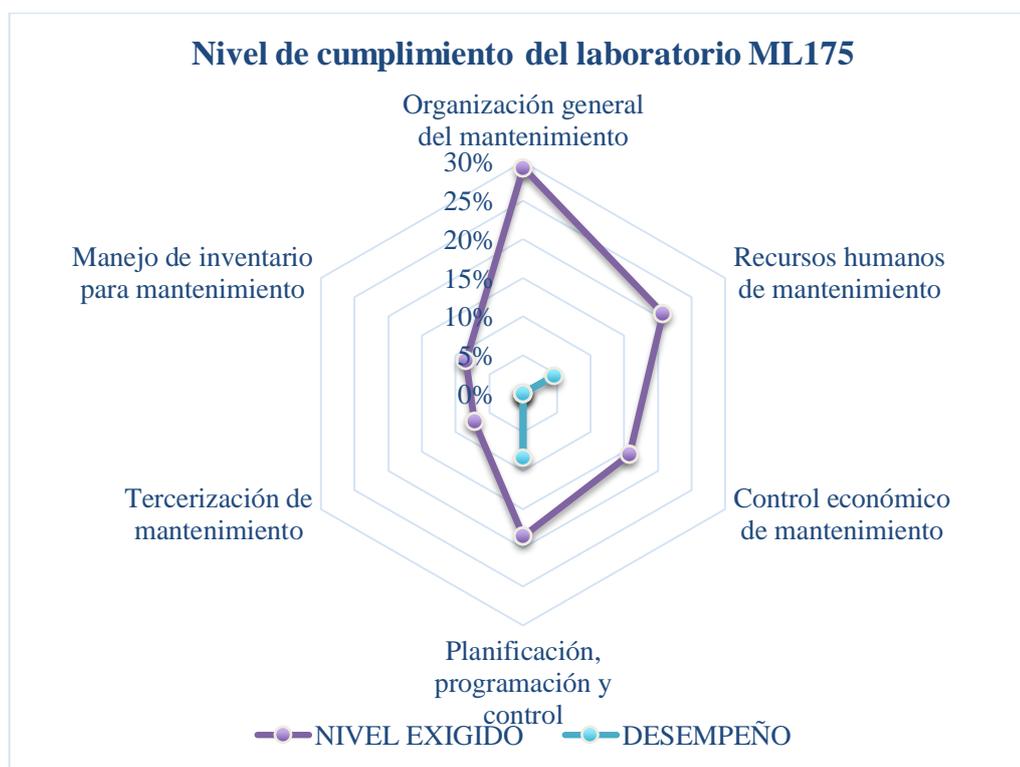


Gráfico 3-15 Nivel de cumplimiento del laboratorio ML175

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Tabla 3-20 Valoración de cada requerimientos y nivel exigido del laboratorio ML180

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	0,00	5%
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	4,04	8%
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%
TOTAL						13%

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

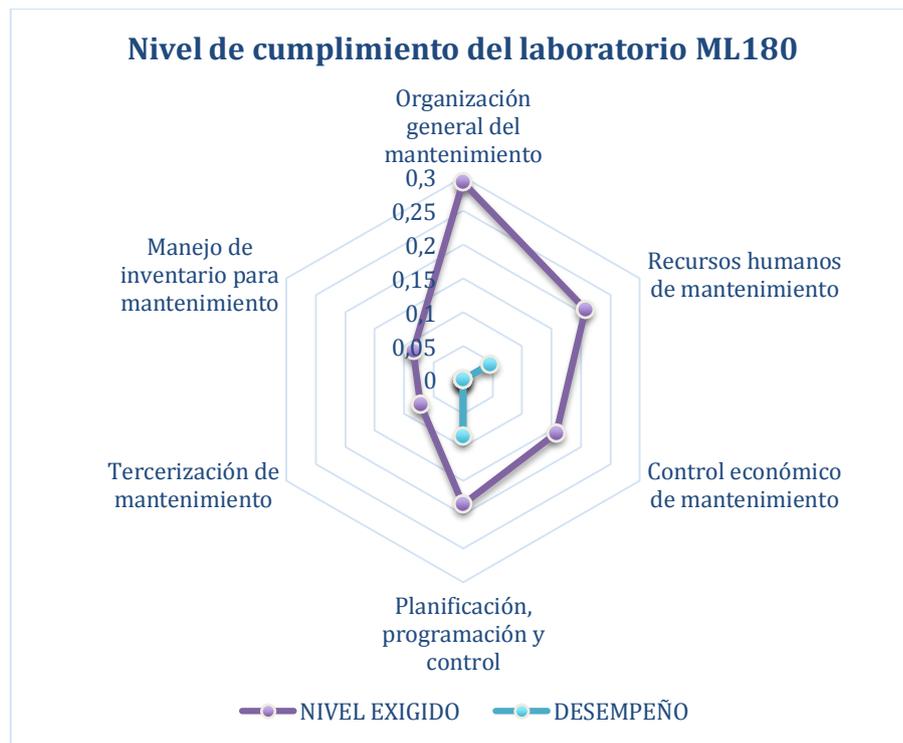


Gráfico 3-16 Nivel de cumplimiento del laboratorio ML180

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Tabla 3-21 Valoración de cada requerimiento y nivel exigido del laboratorio ML185.

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	0,00	5%
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	4,04	8%
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%
TOTAL						13%

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019



Gráfico 3-17 Nivel de cumplimiento del laboratorio ML185

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Como resultado se obtuvo que el laboratorio con mayor rendimiento en la gestión de mantenimiento es el ML 160 con un 24 % que corresponde a un nivel de gestión del mantenimiento deficiente; y el laboratorio con menor rendimiento es el ML170 con un 9 % que corresponde a un nivel de gestión del mantenimiento deficiente.

En la **Tabla 3-22** se evidencia el resumen con la evaluación a los seis laboratorios.

Tabla 3-22 Resumen del nivel de gestión en los laboratorios

Código	Descripción	Valoración % (Umbral)	Porcentaje Valoración	Nivel de gestión
ML 160	Laboratorio de mecánica de fluidos del edificio M25	[0-35) Deficiente [35-70) Poco satisfactorio [70-100) Cuasi Satisfactorio 100 satisfactorio	24%	Deficiente
ML 165	Laboratorio de resistencia de materiales del edificio M25		13%	Deficiente
ML 170	Laboratorio de metrología del edificio M25		9%	Deficiente
ML 175	Laboratorio de control automático e instrumentación del edificio M25		13%	Deficiente
ML 180	Laboratorio de turbo maquinaria del edificio M25		13%	Deficiente
ML 185	Taller CAD CAM		13%	Deficiente

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

De los seis laboratorios evaluados se evidenció que todos tienen un nivel deficiente de la gestión de mantenimiento; lo que indica que no cumplen con los requerimientos para una óptima gestión de mantenimiento.

La **Tabla 3-23** detalla las acciones de mejora para los laboratorios, que se implementarán y mejorarán, posteriormente la gestión de mantenimiento en los mismos.

Tabla 3-23 Acciones de mejora para los laboratorios

No	Código del criterio con menor puntuación	Descripción.	Acción de mejora
1	OM2	No dispone de CMMS/GMAO (Computer maintenance management system) o Dispone de CMMS, pero no lo utiliza. Evidencia: verificar que esté instalado el CMMS	Implementación del SisMAC para la Gestión del mantenimiento
2	RH2	No existe presupuesto para capacitación	Capacitación al personal de mantenimiento encargado de la infraestructura civil y de los equipos de laboratorios en el manejo del SisMAC.
3	PC4	No se elaboran órdenes de trabajo.	Elaboración de órdenes de trabajo de forma digital en SisMAC.
4	PC5	No se realiza ningún control sobre el porcentaje de ejecución del plan de mantenimiento propuesto	Controlar el porcentaje de tareas de mantenimiento planificadas ejecutadas.

Tabla 3-23 (continuación) Acciones de mejora para los laboratorios

5	MI1	No se tiene maestro de ítems de bodega o existe una sub-bodega sin maestro de ítems (Verificar la existencia del documento impreso o digital).	Crear un maestro de ítems
6	CE1	El presupuesto se elabora en base a los posibles trabajos correctivos, mejorativos y contratos externos de mantenimiento.	Elabora en base a los costos de mano de obra, repuestos y suministros de las actividades que constan en el cronograma de mantenimiento preventivo programado.
7	PC1	Se posee el inventario de más del 60% de equipos e instalaciones a mantener	Colocar físicamente el código del inventario en cada una de las instalaciones y equipos a mantener.

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

3.2 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

3.2.1 Aplicación de la metodología de mantenimiento RCM “abreviado”

La aplicación de la metodología de mantenimiento RCM abreviado, inicia con la recopilación de la información existente en las dependencias de la institución. Para lo cual se realizó la gestión pertinente para que se entregue la información requerida, así como se autorice el acceso correspondiente a las áreas de laboratorios y predios mencionados y enlistados en este documento.

Con la información recopilada, obtenida y levantada se procedió a realizar:

- ✓ Inventario técnico para mantenimiento
- ✓ Codificación tanto para infraestructura civil, así como para laboratorios.
- ✓ Elaboración de fichas técnicas
- ✓ Análisis de criticidad
- ✓ Selección de los modelos de mantenimiento
- ✓ Elaboración del plan de mantenimiento basado en RCM
- ✓ Capacitación a los encargados de administrar el mantenimiento

3.2.1.1 Inventario técnico

Se realizaron inspecciones y levantamientos de información de las diferentes áreas de los edificios y laboratorios, tanto de la infraestructura civil, como de los equipos de laboratorio; se obtuvo el inventario hasta el quinto nivel en lo civil y hasta el cuarto nivel

en los laboratorios; un ejemplo del inventario de infraestructura civil, equipos de laboratorio y su jerarquización se presenta la **Figura 3-17** y **Figura 3-18** respectivamente.

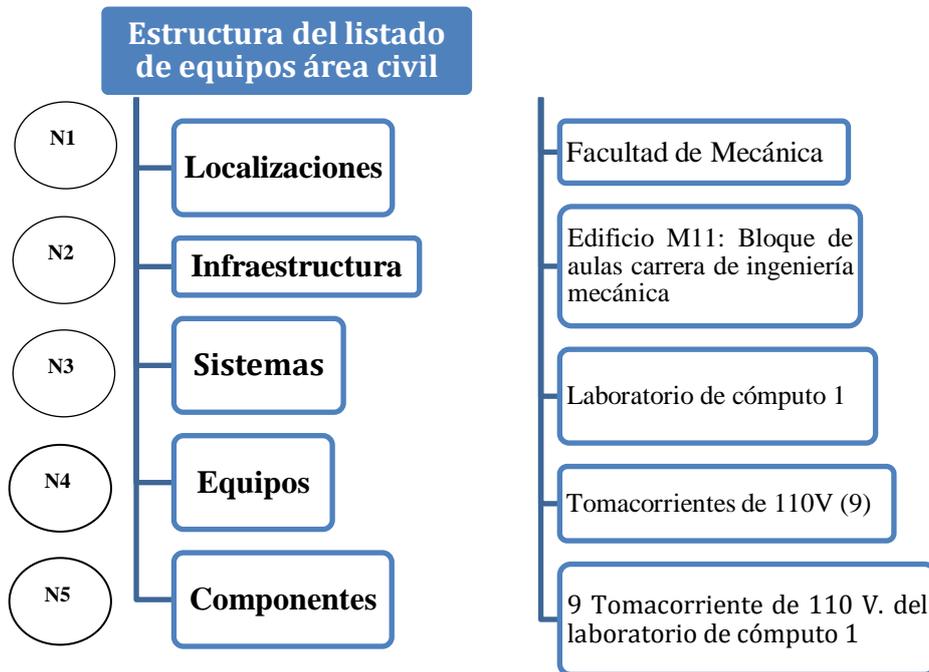


Figura 3-17 Estructura del listado de equipos área civil
 Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

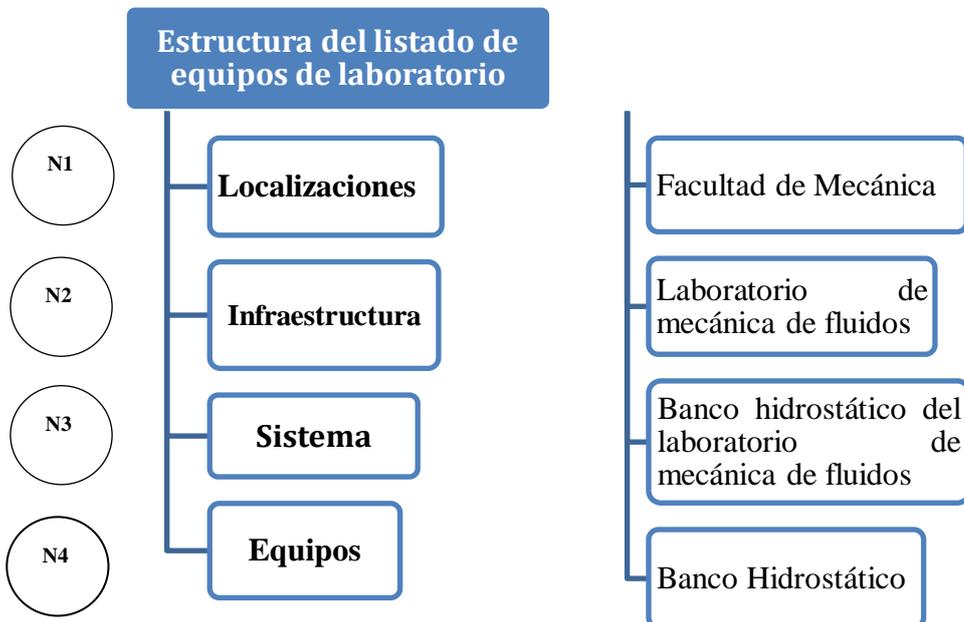


Figura 3-18 Estructura del listado de equipos de laboratorio
 Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

3.2.1.2 Codificación de la infraestructura civil.

La codificación y descripción de áreas y edificios de la Facultad de Mecánica se la establecieron conjuntamente con los departamentos pertinentes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (**ESPOCH**) de la siguiente manera:

- ✓ Definición de clave catastral e inclusión del código propuesto para la gestión de mantenimiento.

Significado y equivalencia de los códigos propuestos y los códigos catastrales se muestra en la **Tabla 3-24**.

Tabla 3-24 Codificación de la infraestructura civil para el nivel de área

CÓDIGO CATASTRAL	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO PROPUESTO
UA3N03 120 11	Edificio M11: Bloque de aulas carrera de ingeniería mecánica	M11
UA3N03 80 17	Edificio M17: Taller de reparaciones de la facultad de mecánica.	M17
UA3N03 80 25	Edificio M25: Bloque de aulas carrera de ingeniería mecánica	M25
UA3N03 080 26	Edificio M26: Bar facultad de mecánica	M26
UA3N03 080 33	Edificio M33: Taller CAD CAM	M33
UA3N03 080 47	Edificio M47: Baterías sanitarias facultad de mecánica	M47
UA3N03 120 08	Edificio M48: Baterías sanitarias facultad de mecánica	M48

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Para codificar los sistemas (tercer nivel jerárquico) del edificio, se emplearon tres códigos numéricos, los cuales están divididos según el nivel del edificio (ver **Tabla 3-25**).

Tabla 3-25 Codificación de áreas

CÓDIGO	002-098	100-198	200-298	300-398	900	910	930
ÁREAS	Planta baja	Primera planta alta	Segunda planta alta	Tercera planta alta	Edificios	Gradas	Cisterna

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Listado de áreas arquitectónicas dentro de la Facultad de Mecánica (Ver **Tabla 3-26**)

Tabla 3-26 Listado de edificios y sistemas codificados

CÓDIGO PROPUESTO	DESCRIPCIÓN
M11	EDIFICIO M11: BLOQUE DE AULAS CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
002	LABORATORIO DE CÓMPUTO 1
004	LABORATORIO DE CÓMPUTO 2
006	S.S.H.H.
008	OFICINA DE MANTENIMIENTO COMPUTADORAS

Tabla 3-26 (Continuación) Listado de edificios y sistemas codificados

010	LABORATORIO DE CÓMPUTO 3
012	OFICINA DE CÓMPUTO
102	AULA 102
104	AULA 104
106	BODEGA
108	S.S.H.H.
110	OFICINA 110 DE DOCENTES
112	AULA 112
M17	EDIFICIO M17: TALLER DE REPARACIONES DE LA FACULTAD DE MECÁNICA.
002	LABORATORIO DE REPARACIONES
004	SALA DE JUEGOS
006	BODEGA 1
008	BODEGA 2
010	SALA DE JUEGOS
M25	EDIFICIO M25: BLOQUE DE AULAS CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
002	GIEBI GRUPOS DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS EN BIO INGENIERÍA
004	AULA 04
006	LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS
008	LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
010	BODEGA DE LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
012	OFICINA 12 DE DOCENTES
014	OFICINA 14 DE DOCENTES
016	BODEGA
018	AULA 18
020	BODEGA
022	GIEBI GRUPOS DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS EN BIO INGENIERÍA
024	LABORATORIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS
026	LABORATORIO DE METROLOGÍA
028	BODEGA
030	OFICINA 30 DE DOCENTES
032	OFICINA 32 DE DOCENTES
034	LABORATORIO DE CONTROL AUTOMÁTICO E INSTRUMENTACIÓN
036	OFICINA 36 DE DOCENTES
038	LABORATORIO DE TURBO MAQUINARIA
040	BODEGA 1
042	BODEGA 2
044	BODEGA
046	S.S.H.H.
048	BODEGA
102	DIRECCIÓN DE LA CARRERA DE MECÁNICA
104	SECRETARÍA DE LA CARRERA DE MECÁNICA
106	OFICINA 106 DE DOCENTES
108	OFICINA 108 DE DOCENTES
110	SALA DE PROFESORES
112	OFICINA 112 DE DOCENTES
114	ARCHIVO PASIVO Y ACTIVO
116	ARCHIVO PASIVO
118	OFICINA DE DOCENTES
120	AULA 120
122	OFICINA 122 DE DOCENTES
124	OFICINA 124 DE DOCENTES
126	OFICINA 126 DE DOCENTES
128	OFICINA 128 DE DOCENTES
130	AULA 130

Tabla 3-26 (Continuación) Listado de edificios y sistemas codificados

132	AULA 132
134	AULA 134
136	AULA 136
138	AULA 138
140	AULA 140
142	OFICINA 142 DE DOCENTES
144	OFICINA 144 DE DOCENTES
146	OFICINA 146 DE DOCENTES
148	OFICINA 148 DE DOCENTES
150	AULA 150
152	OFICINA 152 DE DOCENTES
154	OFICINA 154
M26	
EDIFICIO M26: BAR FACULTAD DE MECÁNICA	
002	COCINA FACULTAD DE MECÁNICA
004	COMEDOR FACULTAD DE MECÁNICA
M33	
EDIFICIO M33: TALLER CAD CAM	
002	S.S.H.H.
004	DUCHA
006	S.S.H.H.
008	TALLER CAD CAM
010	OFICINA 10
012	BODEGA
	S.S.H.H.
014	TALLER DE CERRAJERÍA
102	AULA 102
104	AULA 104
106	AULA 106
M47	
EDIFICIO M47: BATERÍAS SANITARIAS FACULTAD DE MECÁNICA	
002	S.S.H.H. HOMBRES
004	S.S.H.H. MUJERES
M48	
EDIFICIO M48: BATERÍAS SANITARIAS FACULTAD DE MECÁNICA	
002	S.S.H.H. HOMBRES
004	S.S.H.H. MUJERES

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

La codificación hasta el tercer nivel, para ubicar, por ejemplo, al taller de cerrajería es, **M-33-014**.

Para la codificación del cuarto nivel (equipos) de cada área arquitectónica se creó un banco de datos con tipos de familias, para ser ingresado al sistema de mantenimiento asistido por computador, la cual se muestra a continuación (Ver **Tabla 3-27**).

Tabla 3-27 Familia de equipos civiles

EQUIPOS DE LA FAMILIA CIVIL			EQUIPOS DE LA FAMILIA CIVIL		
Familia	Equipos		Familia	Equipos	
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN		CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	
C	AG	Conducción de agua	C	HA	Hall
	AV	Área Verde		IA	Instalaciones para agua potable
	BA	Base o apoyo		IE	Instalaciones eléctricas
	BÑ	Baño		IN	Inodoro
	CA	Calles y caminos		IS	Instalaciones para aguas servidas
	CB	Cubiertas		LO	Losas
	CI	Cimentación		LV	Lavabo
	CN	Canaletas de agua		MR	Muros
	CO	Columnas		MS	Mesón
	CR	Cielo raso		PA	Pasillo
	CS	Cisterna		PR	Paredes
CT	Caseta	PS		Piso	
EQUIPOS DE LA FAMILIA CIVIL				PT	Piscina de Tratamiento
Familia	Equipos			PU	Puentes
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN			RJ	Reja metálica
C	CU	Aula / Oficina / Laboratorio / Bodega / Cuarto / Sala de reu		RM	Rampa
	CV	Conductos de ventilación		SI	Silos, tolvas y depósitos
	DE	Desagüe		TA	Taller
	DU	Ducha		TC	Techo
	ED	Edificio		TN	Tubería conducción de aire
	EP	Espejo		UR	Urinario Bamba (para hombres)
	ES	Estacionamiento		VG	Vigas
	ET	Estructuras de soporte			
	FA	Fachada			
GR	Gradas, plataformas y pasamanos				

Fuente: SisMAC

A continuación, en la **Tabla 3-28** se muestra la codificación hasta el cuarto nivel (nivel de equipos) del área arquitectónica 002 Centro de cómputo 1 del edificio, M11: Bloque de aulas carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Mecánica.

El listado de la codificación de los demás edificios ver **Anexo D**.

Tabla 3-28 Codificación de la infraestructura civil a nivel de equipos del edificio M-11-002 centro de cómputo 1

Código	Descripción
M-11-002-D-PR-01	Puntos de red del laboratorio de cómputo 1 (42 puntos de red)
M-11-002-C-CU-01	Laboratorio de cómputo 1
M-11-002-E-IL-01	Iluminación del laboratorio de cómputo 1 (6 lámparas fluorescentes)
M-11-002-E-IN-01	Interruptores del laboratorio de cómputo 1 (1 interruptor doble)

Tabla 3-28 (Continuación) Codificación de la infraestructura civil a nivel de equipos del edificio M-11-002 centro de cómputo 1

Código	Descripción
M-11-002-E-TM-01	Tomacorrientes del laboratorio de cómputo 1 (9 de 110V)
M-11-002-S-ET-01	Extintor clases PQS del laboratorio de cómputo 1
M-11-002-S-SV-01	Cámara de vigilancia del laboratorio de cómputo 1

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

3.2.1.3 Codificación para los laboratorios.

- ✓ Nivel 1: Localización; corresponde a la Facultad de Mecánica por una letra que lo identifique, en este caso es “**M**”
- ✓ Nivel 2: Área; Para los laboratorios y talleres de la Facultad de Mecánica se le asignó el código alfa numérico múltiplos de 5 con la letra que lo identifique en este caso, “**L**” y “**160**” designado al laboratorio de Mecánica de Fluidos.
- ✓ Nivel 3: Sistema; Para los sistemas o en este caso banco de laboratorio y tesis implementadas en laboratorios y talleres de la Facultad de Mecánica se le asignó un código numérico secuencial desde “001”, en este caso para que se lo identifique.
- ✓ Nivel 4: Equipo; Para los equipos el programa codifica automáticamente dividiéndolo por familias.

En la **Tabla 3-29** se detalla y visualiza la codificación, descripción y ubicación de todos los laboratorios del caso de estudio.

En las **Tablas 3-30; Tablas 3-31** se visualiza la codificación hasta el nivel de equipos del laboratorio tomado de ejemplo, ML160, laboratorio de Mecánica de Fluidos.

Tabla 3-29 Codificación para los laboratorios y talleres

CÓDIGO	LABORATORIOS
M L160	LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS
M L165	LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
M L170	LABORATORIO DE METROLOGÍA
M L175	LABORATORIO DE CONTROL AUTOMÁTICO E INSTRUMENTACIÓN
M L180	LABORATORIO DE TURBO MAQUINARIA
M L185	TALLER CAD CAM

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Tabla 3-30 Codificación de los sistemas existentes en el ML160

CÓDIGO DE ÍTEM	DESCRIPCIÓN DE ÍTEM
ML160-001	BANCO HIDROSTÁTICO DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS
ML160-002	BANCO VISCOSÍMETRO DE SAYBOLT DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS
ML160-003	VISCOSÍMETRO CUOTTE
ML160-004	EQUIPO DE FUERZAS HIDROSTÁTICAS DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS
ML160-005	MICRO MANÓMETRO DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS
ML160-006	BANCO VÓRTICE FORZADO DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS
ML160-007	APARATO DE OSBORNE REYNOLDS DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS
ML160-008	BANCO DE PRUEBAS PARA CONEXIÓN DE BOMBAS EN PARALELO DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS
ML160-009	BANCO PARA MEDIDORES VOLUMÉTRICOS DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS
ML160-010	EQUIPO IMPACTO DE CHORRO DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS
ML160-011	CANAL DE LECHO AJUSTABLE (TUBO PITOT)
ML160-013	BANCO RESISTENCIA DE FLUJO DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS
ML160-014	MESA DE ANÁLISIS DE FLUJO LAMINAR DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS
ML160-015	CANAL REGULADOR DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS
ML160-016	BANCO HIDRÁULICO DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Tabla 3-31 Codificación de los equipos de cada sistema del ML160

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
M-L160-001-L-BH-1	Banco hidrostático
M-L160-001-M-DP-1	Depósito de agua del banco hidrostático
M-L160-002-E-ME-1	Motor eléctrico del banco viscosímetro de SAYBOLT
M-L160-002-E-ME-2	Motor eléctrico del banco viscosímetro de SAYBOLT
M-L160-002-E-TC-1	Tablero de control del banco viscosímetro de SAYBOLT
M-L160-002-L-BVS-1	Banco viscosímetro de SAYBOLT
M-L160-002-M-BB-1	Bomba de recirculación del banco viscosímetro de SAYBOLT
M-L160-002-M-BB-2	Bomba del banco viscosímetro de SAYBOLT
M-L160-002-M-DP-1	Depósito de agua del banco viscosímetro de SAYBOLT
M-L160-002-M-SI-1	Sistema eléctrico del banco viscosímetro de SAYBOLT
M-L160-003-L-VC-1	Viscosímetro COUTTE
M-L160-003-M-ER-1	Soporte del viscosímetro COUTTE
M-L160-003-M-ER-2	Eje del viscosímetro COUTTE
M-L160-004-L-BFH-1	Equipo de fuerzas hidrostáticas
M-L160-005-L-MMA-1	Micro manómetro
M-L160-005-M-EQ-1	Tuberías, válvulas y accesorios del micro manómetro
M-L160-005-M-POR-1	Placa orificio del micro manómetro
M-L160-005-M-VV-1	Ventilador del micro manómetro

Tabla 3-31 (Continuación) Codificación de los equipos de cada sistema del ML160

M-L160-006-E-ME-1	Motor trifásico del banco vórtice forzado
M-L160-006-E-TC-1	Tablero de control del banco vórtice forzado
M-L160-006-E-VF-1	Variador de frecuencia del banco vórtice forzado
M-L160-006-L-BVF-1	Banco de vórtice forzado
M-L160-006-M-DP-1	Depósito cilíndrico del banco vórtice forzado
M-L160-006-M-RD-1	Caja reductora del banco vórtice forzado
M-L160-006-M-SI-1	Sistema eléctrico del banco vórtice forzado
M-L160-007-L-BOR-1	Banco Osborne Reynolds
M-L160-007-M-DP-1	Depósito de agua del banco Osborne Reynolds
M-L160-007-M-EQ-1	Tuberías, válvulas y accesorios del banco Osborne Reynolds
M-L160-008-E-ME-1	Motor del banco de pruebas para conexión de bombas en paralelo
M-L160-008-E-ME-2	Motor del banco de pruebas para conexión de bombas en paralelo
M-L160-008-E-TC-1	Tablero de control del banco de pruebas para conexión de bombas en paralelo
M-L160-008-L-BPP-1	Banco de pruebas para conexión de bombas en paralelo
M-L160-008-M-BB-1	Bomba centrífuga del banco de pruebas para conexión de bombas en paralelo
M-L160-008-M-BB-2	Bomba centrífuga del banco de pruebas para conexión de bombas en paralelo
M-L160-008-M-EQ-1	Tuberías, válvulas y accesorios del banco de pruebas para conexión de bombas en paralelo
M-L160-008-M-SH-1	Depósito de agua del banco de pruebas para conexión de bombas en paralelo
M-L160-009-E-ME-1	Motor eléctrico del banco para medidores volumétricos
M-L160-009-E-ME-2	Motor eléctrico del banco para medidores volumétricos
M-L160-009-E-TC-1	Tablero de control del banco para medidores volumétricos
M-L160-009-L-BMV-1	Banco para medidores volumétricos
M-L160-009-M-BB-1	Bomba azul del banco para medidores volumétricos
M-L160-009-M-BB-2	Bomba verde del banco para medidores volumétricos
M-L160-009-M-EQ-1	Tuberías, válvulas y accesorios del banco para medidores volumétricos
M-L160-009-M-SH-1	Tanque principal del banco para medidores volumétricos
M-L160-009-M-SH-2	Tanque principal del banco para medidores volumétricos
M-L160-010-L-IC-1	Equipo de impacto de chorro
M-L160-011-E-ME-1	Motor eléctrico del canal de lecho ajustable
M-L160-011-L-BCA-1	Banco canal de lecho ajustable
M-L160-011-M-BB-1	Bomba del canal de lecho ajustable
M-L160-011-M-DP-1	Depósito de agua del canal de lecho ajustable
M-L160-011-M-EQ-1	Tuberías, válvulas y accesorios del canal de lecho ajustable
M-L160-012-E-MC-1	Medidor de caudal tipo turbina del banco resistencia de flujo
M-L160-012-E-TC-1	Tablero de control del banco resistencia de flujo
M-L160-012-L-BP-1	Banco de pérdidas
M-L160-012-M-EQ-1	Tuberías, válvulas y accesorios del banco resistencia de flujo
M-L160-012-M-SI-1	Sistema eléctrico del banco resistencia de flujo
M-L160-013-L-BFL-1	Banco mesa de flujo laminar
M-L160-013-M-EQ-1	Tuberías, válvulas y accesorios de la mesa de flujo laminar

Tabla 3-31 (Continuación) Codificación de los equipos de cada sistema del ML160

M-L160-013-M-SY-1	Sistema de inyectores de la mesa de flujo laminar
M-L160-014-E-ME-1	Motor eléctrico del canal regulador
M-L160-014-E-TC-1	Tablero de control del canal regulador
M-L160-014-M-BB-1	Boba centrifuga del canal regulador
M-L160-014-M-DP-1	Tanque reservorio del canal regulador
M.L160-014-M-EQ-1	Tuberías, válvulas y accesorios del canal regulador
M-L160-015-E-ME-1	Motor eléctrico del banco hidráulico
M-L160-015-E-TC-1	Tablero de control del banco hidráulico
M-L160-015-L-BHD-1	Banco hidráulico
M-L160-015-M-BB-1	Bomba del banco hidráulico
M-L160-015-M-DP-1	Depósito de agua del banco hidráulico
M-L160-015-M-EQ-1	Tuberías, válvulas y accesorios del banco hidráulico

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Una vez codificadas todas las áreas, sistemas y sobre todo los equipos a mantener se procedió a realizar el análisis de criticidad para establecer, a qué equipos se les aplicará el RCM abreviado; puesto que esta técnica no se aplica sino solo a los equipos críticos, con el fin de reducir o mitigar los modos de fallo que afectan o producen mantenimientos imprevistos de grandes costos en general.

3.2.1.4 Fichas de los equipos.

Fichas técnicas para los equipos de laboratorios donde se hallan los datos como la marca, el modelo, el número de serie, el código de bienes necesario para el inventariado de los bienes de la Escuela superior Politécnica de Chimborazo, la ubicación etc. Se muestran a continuación en un ejemplo, ver en la **Tabla 3-32**, las demás fichas ver **Anexo E**.

Tabla 3-32 Ficha técnica de laboratorios

FICHA TÉCNICA DE EQUIPOS DE LABORATORIO			
Elaborador por: Altamirano, Tutasig, 2019 Fecha:			
Marca:	TINUS OLSEN	No serie:	
Modelo:	5K180HJ2048		
Código de bienes:	9506		
Ubicación:	Laboratorio de Resistencia de materiales		
Frecuencia de uso:	Muy alta		
Estado:	Operativo		
Características técnicas	Capacidad: 1000000 Kg motor eléctrico cabezal inferior potencia: 3 HP rpm: 1735 alimentación eléctrica: 208-220/440V		

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Así también se presenta un ejemplo de ficha técnica para la infraestructura civil que se muestra en la **Tabla 3-33** ver **Anexo F**

Tabla 3-33 Ficha técnica área civil edificio M 33 008

FICHA TÉCNICA DE UNA ÁREA ARQUITECTÓNICA:			
Elaborador por: Altamirano, Tutasig, 2019 Fecha: _____			
ÁREA ARQUITECTÓNICA			
DESCRIPCIÓN: Taller CAD CAM		CÓDIGO: M33-008	
CIELO RASO:		PISO:	
Tipo de cielo raso:	Estuco y perfiles de aluminio	Tipo de piso:	Cementó, hormigón
Área de cielo raso (m2):	540.06	Área de piso (m2):	540.06
PAREDES:			
Enlucidas y pintadas (m2):	415.07	Mampara de vidrio (m2):	
Champeadas (m2):		Mampara de madera (m2):	
Madera (m2):		Paredes con apliques (m2):	
Ladrillo visto (m2):		P. con cerámica (m2):	
Mampostería de piedra (m2):		P. con porcelanato (m2):	
Tabiquería (m2):		P. con otro revestimiento (m2):	

PUERTAS Y VENTANAS:

Número de puertas:	2	Número de ventanas:	20
Área puertas (m2):	18.49	Área de ventanas (m2):	84.37
Material de puertas:	aluminio y vidrio	Material de ventanas:	libro

ILUMINACIÓN:

No. Lámparas fluorescentes:		No. Focos convencionales:	
No. Lámparas ojos de buey:		No. de reflectores:	
No. Focos ahorradores:		No. Lámpara de alumbrado público:	8

INSTALACIONES:

No. Tomacorrientes 110V:	7	No. placas mixtas (toma+inter):	
No. Tomacorrientes 220V:	9	No. de puntos de red:	1
No. Interruptores:	2	No. de puntos telefónicos:	

DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD:

No. Extintores:	3	No. Lámparas de emergencia:	
No. Sensores de humo:		No. cámaras de vigilancia:	2
No. Sensores de movimiento:		No. otros: _____	
		—	

OTROS DISPOSITIVOS:

No. Aire acondicionado:		Infocus:	
Sistema de Audio:		No. otros: _____	
		—	

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

3.2.1.5 Análisis de criticidad de los equipos civiles.

Con los instrumentos mencionados en el capítulo II, la **Tabla 2-8** y la **Figura 2-11**, evalúa la criticidad para él **M-25-002** (GIEBI grupos de investigación y estudios en bio ingeniería), para lo cual se realiza las preguntas de la **Tabla 2-8** y siguiendo el camino por el que nos conduce el flujograma de la **Figura 2-11**, de acuerdo a las respuestas a las preguntas de la matriz de criticidad en la **Tabla 2-8**, como se observa en la **Tabla 3-34**

dando como resultado que el **M-25-002** caen en la categoría de *equipo prescindible*,.(Análisis de criticidad equipos civiles ver **Anexo G**).

Tabla 3-34 Evaluación de criticidad del **M-25-002** (GIEBI grupos de investigación y estudios en bio ingeniería)

CRITICIDAD	A: CRITICO	B: IMPORTANTE	C: PRESCINDIBLE
Medio ambiente.	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.	Si un fallo del mismo provocase una contaminación o afección que pudiera gestionarse al interior de la institución.	Si un fallo del mismo no produjese ningún tipo de contaminación medio ambiental.
Respuesta	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>	si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>
Seguridad.	Serán aquellos cuyos fallos puedan producir accidentes que provocan absentismo laboral temporal o permanente en el lugar de trabajo.	Podría causar daños menores a las personas, no produce ausencia.	Son activos cuyos fallos no pueden crear consecuencias relacionadas con la seguridad de las personas.
Respuesta	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>	si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>
Calidad.	Serán aquellos cuyos fallos puedan producir una mala imagen o impacto externo a la ciudadanía	Serán aquellos cuyos fallos que produzcan una imagen negativa interna	Serán aquellos cuyos fallos no ocasionen ningún impacto
Respuesta	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>	si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>	si <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>
Tiempo de trabajo.	Corresponderá a esta categoría las áreas arquitectónicas utilizadas en jornada matutina, vespertina y fines de semana.	Las áreas arquitectónicas utilizadas en jornada matutina y vespertina.	Las áreas arquitectónicas utilizadas en una jornada
Respuesta	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>	si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>
Impacto operacional.	Cuando un fallo provoca el cierre del área y el desalojo de más de 40 usuarios.	Cuando un fallo provoca el cierre del área y el desalojo entre 20 a 40 usuarios.	Cuando un fallo provoca el cierre del área y el desalojo de menos de 20 usuarios.
Respuesta	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>	si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>
Fiabilidad.	Los activos con frecuencia de fallo menor a 5 horas	Los activos con frecuencia de fallo mayor de 5 horas y menor a 10 horas.	Los activos con frecuencia de fallo superiores a 10 horas.
Respuesta	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>	si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>
Mantenibilidad	Las áreas arquitectónicas que requieran un tiempo medio de reparación de más 24 horas.	Las áreas arquitectónicas que requieran un tiempo medio de reparación entre 6 y 12 horas.	Aquellas áreas arquitectónicas cuyo tiempo medio de reparación es inferior a 6 horas.
Respuesta	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>	si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/>	si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/>

Fuente: Grupo de investigación “Gestión del mantenimiento”

Tabla 3-35 Análisis de criticidad del edificio M25: Bloque de aulas carrera de ingeniería mecánica

Código del área	Descripción del área arquitectónica	Factores evaluados																		Criticidad			
		Medio ambiente			Seguridad			Calidad			Tiempo de trabajo			Impacto operacional			Fiabilidad				Mantenibilidad		
		A= Crítico B= Importante C= Precindible																					
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C				
M25-002	GIEBI grupos de investigación y estudios en bio ingeniería			X			X			X			X			X			X			X	C
M25-004	Aula 004			X			X			X			X			X			X			X	C
M25-006	Laboratorio de mecánica de fluidos			X			X			X			X			X			X			X	C
M25-008	Bodega del laboratorio de mecánica de fluidos			X			X			X			X			X			X			X	C
M25-010	Laboratorio de resistencia de materiales			X			X			X			X			X			X			X	C
M25-012	Bodega del laboratorio de resistencia de materiales			X			X			X			X			X			X			X	C
M25-014	Oficina 014 de docentes			X			X			X			X			X			X			X	C
M25-016	Oficina 016 de docentes			X			X			X			X			X			X			X	C
M25-018	Bodega			X			X			X			X			X			X			X	C
M25-020	Aula 020			X			X			X			X			X			X			X	C
M25-022	Bodega			X			X			X			X			X			X			X	C
M25-024	GIEBI grupos de investigación y estudios en bio ingeniería			X			X			X			X			X			X			X	C
M25-026	Laboratorio de ensayos no destructivos			X			X			X			X			X			X			X	C
M25-028	Laboratorio de metrología			X			X			X			X			X			X			X	C
M25-030	Bodega del laboratorio de metrología			X			X			X			X			X			X			X	C
M25-032	Oficina 032 de docentes			X			X			X			X			X			X			X	C
M25-034	Oficina 034 de docentes			X			X			X			X			X			X			X	C
M25-036	Laboratorio de control automático e instrumentación			X			X			X			X			X			X			X	C
M25-038	Oficina 038 de docentes			X			X			X			X			X			X			X	C
M25-040	Laboratorio de turbo maquinaria			X			X			X			X			X			X			X	C
M25-042	Bodega 1			X			X			X			X			X			X			X	C
M25-044	Bodega 2			X			X			X			X			X			X			X	C
M25-046	Bodega			X			X			X			X			X			X			X	C
M25-048	S.s.h.h			X			X			X			X			X			X			X	C
M25-050	Bodega			X			X			X			X			X			X			X	C

Código del área	Descripción del área arquitectónica	Factores evaluados																		Criticidad			
		Medio ambiente			Seguridad			Calidad			Tiempo de trabajo			Impacto operacional			Fiabilidad				Mantenibilidad		
		A= Crítico B= Importante C= Prescindible																					
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C				
M25-052	Hall de ingreso planta baja		X		X		X		X		X		X		X		X		X	C			
M25-054	Pasillo de la planta baja		X		X		X		X		X		X		X		X		X	C			
M25-102	Dirección de la carrera de mecánica		X		X		X		X		X		X		X		X		X	C			
M25-104	Secretaría de la carrera de mecánica		X		X		X		X		X		X		X		X		X	C			
M25-106	Oficina 106 de docentes		X		X		X		X		X		X		X		X		X	C			
M25-108	Oficina 108 de docentes		X		X		X		X		X		X		X		X		X	C			
M25-110	Sala de profesores		X		X		X		X		X		X		X		X		X	C			
M25-112	Oficina 112 de docentes		X		X		X		X		X		X		X		X		X	C			
M25-114	Archivo pasivo y activo		X		X		X		X		X		X		X		X		X	C			
M25-116	Archivo pasivo		X		X		X		X		X		X		X		X		X	C			
M25-118	Oficina 118 de docentes		X		X		X		X		X		X		X		X		X	C			
M25-120	Aula 120		X		X		X		X		X		X		X		X		X	C			
M25-122	Oficina 122 de docentes		X		X		X		X		X		X		X		X		X	C			
M25-124	Oficina 124 de docentes		X		X		X		X		X		X		X		X		X	C			
M25-126	Oficina 126 de docentes		X		X		X		X		X		X		X		X		X	C			
M25-128	Oficina 128 de docentes		X		X		X		X		X		X		X		X		X	C			
M25-130	Aula 130		X		X		X		X		X		X		X		X		X	C			
M25-132	Aula 132		X		X		X		X		X		X		X		X		X	C			
M25-134	Aula 134		X		X		X		X		X		X		X		X		X	C			
M25-136	Aula 136		X		X		X		X		X		X		X		X		X	C			
M25-138	Aula 138		X		X		X		X		X		X		X		X		X	C			
M25-140	Aula 140		X		X		X		X		X		X		X		X		X	C			
M25-142	Oficina 142 de docentes		X		X		X		X		X		X		X		X		X	C			
M25-144	Oficina 144 de docentes		X		X		X		X		X		X		X		X		X	C			
M25-146	Oficina 146 de docentes		X		X		X		X		X		X		X		X		X	C			
M25-148	Oficina 148 de docentes		X		X		X		X		X		X		X		X		X	C			
M25-150	Aula 150		X		X		X		X		X		X		X		X		X	C			
M25-152	Oficina 152 de docentes		X		X		X		X		X		X		X		X		X	C			
M25-154	Oficina 154 de docentes		X		X		X		X		X		X		X		X		X	C			
M25-156	Pasillo planta alta		X		X		X		X		X		X		X		X		X	C			
M25-900	Edificio M25 bloque de aulas carrera de ingeniería mecánica		X		X		X		X		X		X		X		X		X	C			
M25-910	Gradas del edificio		X		X		X		X		X		X		X		X		X	C			

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Como consecuencia del análisis de criticidad realizado a las áreas arquitectónicas del edificio M25, se determinó que todas las áreas son de tipo C=Prescindible.

3.2.1.6 Análisis de criticidad de los equipos de talleres y laboratorios

En el caso de la determinación de la criticidad para los equipos de talleres y laboratorios en estudio, se utilizó la matriz de la **Figura 3-19** que es el mismo de la **Figura 2-12** y se diferencia del que se utilizó para la evaluación de la criticidad de la infraestructura civil por que en esta matriz se evalúan tan solo 4 aspectos y el camino que nos ayudará a seguir para determinar la criticidad es el flujograma de la **Figura 2-13**.

CRITICIDAD	A : CRITICO	B : IMPORTANTE	C : PRESCINDIBLE
Seguridad y medio ambiente.	Puede originar un accidente muy grave	Necesita revisiones periódicas anuales (de seguridad)	Poca influencia en la seguridad y medio ambiente.
	Necesita revisiones periódicas frecuentes (de seguridad)	Puede ocasionar un accidente grave, pero las posibilidades son remotas.	
	Ha producido accidentes en el pasado		
Impacto operacional.	Su parada afecta en la planificación de ejecución de prácticas de laboratorio.	Afecta a la ejecución de práctica, pero es recuperable (no llega a afectar a los ocupantes en la planificación de prácticas)	Poca influencia en la ejecución de prácticas
Calidad del proceso de enseñanza - aprendizaje	Es clave para la calidad del proceso, enseñanza - aprendizaje.	Afecta la calidad del proceso, enseñanza - aprendizaje, pero habitualmente no es problemático.	No afecta a la calidad del proceso, enseñanza - aprendizaje.
Mantenimiento.	Alto costo de reparación en caso de avería	Costo medio en mantenimiento	Bajo costo de mantenimiento
	Averías muy frecuentes		
	Consumo una parte importante de los recursos de mantenimiento (mano de obra o materiales)		

Figura 3-19 Matriz de criticidad para equipos de talleres y laboratorios

Fuente: Grupo de investigación "Gestión del mantenimiento"

La evaluación de la criticidad para los equipos en los laboratorios se realizó conjuntamente con los encargados y responsables de los equipos del laboratorio en análisis, puesto que la mayor información que la matriz requiere la posee el encargado o responsable de los equipos, quienes facilitaron la información requerida para categorizar a los equipos, ya sea de tipo A= Crítico, B=Importante o C=Prescindible a los equipos.

El análisis de criticidad realizado al laboratorio ML160 (laboratorio de mecánica de fluidos), realizado a nivel de sistema, se muestra en la **Tabla 3-36**.

Tabla 3-36 Análisis de criticidad equipos laboratorio ML160

Análisis de criticidad del laboratorio ML160														
CRITICIDAD		Seguridad y medio ambiente			Impacto operacional			Calidad proceso enseñanza aprendizaje			Mantenimiento			CRITICIDAD
Código	Descripción	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
M-L160-001	Banco hidrostático del laboratorio de mecánica de fluidos			X	X			X					X	B
M-L160-002	Banco viscosímetro de SAYBOLT del laboratorio de mecánica de fluidos	X			X			X				X		B
M-L160-003	Viscosímetro CUOTTE			X	X			X					X	C
M-L160-004	Equipo de fuerzas hidrostáticas del laboratorio de mecánica de fluidos			X	X			X					X	C
M-L160-005	Micro manómetro del laboratorio de mecánica de fluidos			X	X			X					X	C
M-L160-006	Banco vórtice forzado del laboratorio de mecánica de fluidos		X		X			X			X			B
M-L160-007	Aparato de Osborne Reynolds del laboratorio de mecánica de fluidos			X	X			X					X	C
M-L160-008	Banco de pruebas para conexión de bombas en paralelo			X	X			X				X		B
M-L160-009	Banco para medidores volumétricos del laboratorio de mecánica de fluidos	X			X			X				X		B
M-L160-010	Equipo impacto de chorro del laboratorio de mecánica de fluidos			X	X			X					X	C
M-L160-011	Canal de lecho ajustable (tubo Pitot)			X	X			X			X			B
M-L160-013	Banco resistencia de flujo del laboratorio de mecánica de fluidos			X	X			X				X		B
M-L160-014	Mesa de análisis de flujo laminar del laboratorio de mecánica de fluidos			X	X			X					X	C
M-L160-015	Canal regulador del laboratorio de mecánica de fluidos		X		X			X				X		B
M-L160-016	Banco hidráulico del laboratorio de mecánica de fluidos			X	X			X				X		B

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Ver el análisis completo de los sistemas de los demás laboratorios en el **Anexo H**.

Determinada la criticidad en cada uno de los sistemas de los laboratorios, se puede realizar el siguiente paso que es la selección del modelo de mantenimiento.

3.2.1.7 Selección del modelo de mantenimiento

La selección del modelo de mantenimiento se determinó mediante el flujograma de la **Figura 3-20**, que permite determinar el modelo de mantenimiento a aplicar, de acuerdo a la criticidad y nivel de uso del sistema en análisis.

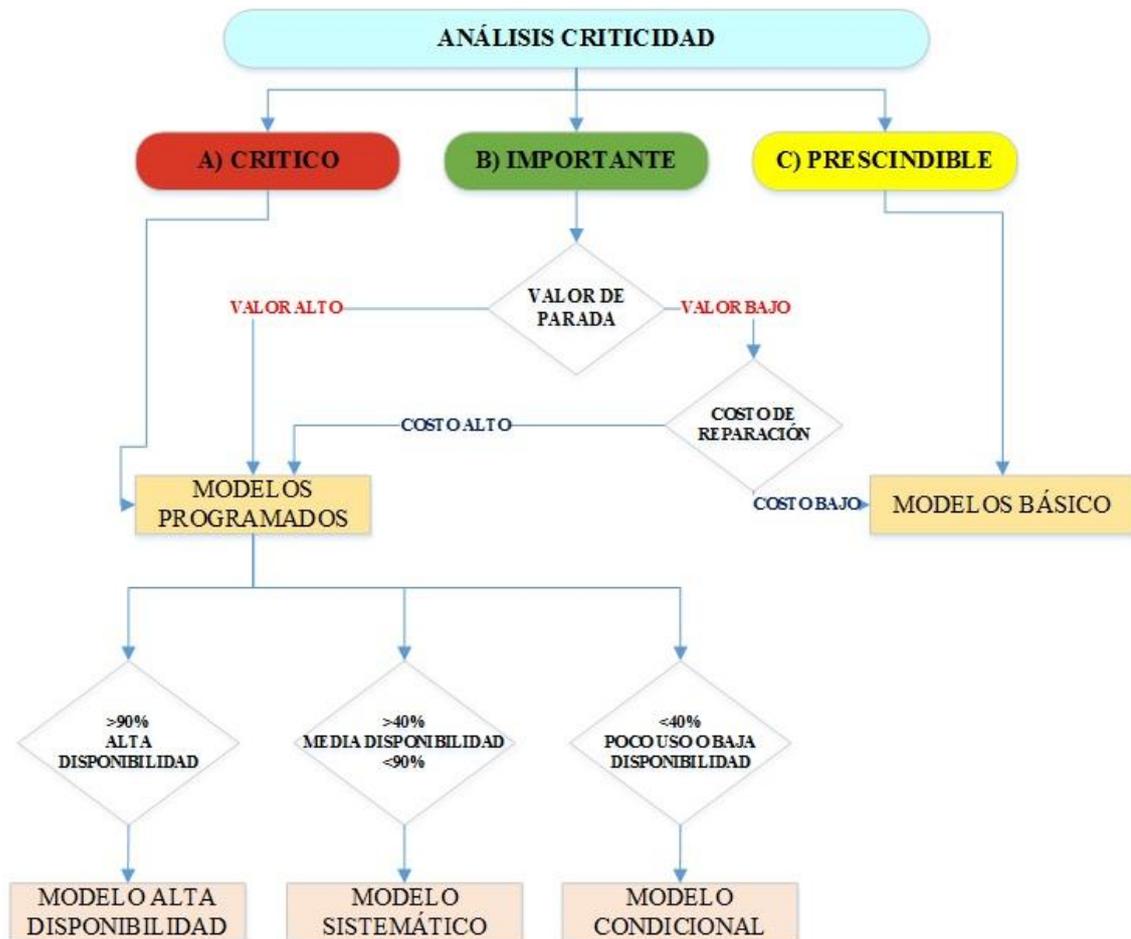


Figura 3-20 Flujograma para la selección del modelo de mantenimiento

Fuente: Grupo de investigación "Gestión del mantenimiento"

Aplicando este flujograma, con los resultados del análisis de criticidad del edificio M25 y tomando en cuenta que la criticidad para todos los equipos de este edificio es de tipo "Prescindible", entonces el modelo de mantenimiento para los sistemas civiles del edificio M25, les corresponde el "modelo básico" de mantenimiento, como se observa un ejemplo en la **Tabla 3-37**. Las tablas con la selección del modelo de mantenimiento de los edificios se presentan en el **Anexo I**.

Tabla 3-37 Selección del modelo de mantenimiento del edificio M25: Bloque de aulas carrera de ingeniería mecánica

CÓDIGO	SISTEMA	MODELO DE MANTENIMIENTO
M25-002	GIEBI grupos de investigación y estudios en bio ingeniería	MODELO BÁSICO
M25-004	Aula 004	MODELO BÁSICO
M25-006	Laboratorio de mecánica de fluidos	MODELO BÁSICO
M25-008	Bodega del laboratorio de mecánica de fluidos	MODELO BÁSICO
M25-010	Laboratorio de resistencia de materiales	MODELO BÁSICO
M25-012	Bodega del laboratorio de resistencia de materiales	MODELO BÁSICO
M25-014	Oficina 014 de docentes	MODELO BÁSICO
M25-016	Oficina 016 de docentes	MODELO BÁSICO
M25-018	Bodega	MODELO BÁSICO
M25-020	Aula 020	MODELO BÁSICO
M25-022	Bodega	MODELO BÁSICO
M25-024	GIEBI grupos de investigación y estudios en bio ingeniería	MODELO BÁSICO
M25-026	Laboratorio de ensayos no destructivos	MODELO BÁSICO
M25-028	Laboratorio de metrología	MODELO BÁSICO
M25-030	Bodega del laboratorio de metrología	MODELO BÁSICO
M25-032	Oficina 032 de docentes	MODELO BÁSICO
M25-034	Oficina 034 de docentes	MODELO BÁSICO
M25-036	Laboratorio de control automático e instrumentación	MODELO BÁSICO
M25-038	Oficina 038 de docentes	MODELO BÁSICO
M25-040	Laboratorio de turbo maquinaria	MODELO BÁSICO
M25-042	Bodega 1	MODELO BÁSICO
M25-044	Bodega 2	MODELO BÁSICO
M25-046	Bodega	MODELO BÁSICO
M25-048	S.S.H.H	MODELO BÁSICO
M25-050	Bodega	MODELO BÁSICO
M25-052	Hall de ingreso planta baja	MODELO BÁSICO
M25-054	Pasillo de la planta baja	MODELO BÁSICO
M25-102	Dirección de la carrera de mecánica	MODELO BÁSICO
M25-104	Secretaría de la carrera de mecánica	MODELO BÁSICO
M25-106	Oficina 106 de docentes	MODELO BÁSICO
M25-108	Oficina 108 de docentes	MODELO BÁSICO
M25-110	Sala de profesores	MODELO BÁSICO
M25-112	Oficina 112 de docentes	MODELO BÁSICO
M25-114	Archivo pasivo y activo	MODELO BÁSICO
M25-116	Archivo pasivo	MODELO BÁSICO
M25-118	Oficina 118 de docentes	MODELO BÁSICO
M25-120	Aula 120	MODELO BÁSICO
M25-122	Oficina 122 de docentes	MODELO BÁSICO

Tabla 3-37 (Continuación) Selección del modelo de mantenimiento del edificio M25:
Bloque de aulas carrera de ingeniería mecánica

M25-124	Oficina 124 de docentes	MODELO BÁSICO
M25-126	Oficina 126 de docentes	MODELO BÁSICO
M25-128	Oficina 128 de docentes	MODELO BÁSICO
M25-130	Aula 130	MODELO BÁSICO
M25-132	Aula 132	MODELO BÁSICO
M25-134	Aula 134	MODELO BÁSICO
M25-136	Aula 136	MODELO BÁSICO
M25-138	Aula 138	MODELO BÁSICO
M25-140	Aula 140	MODELO BÁSICO
M25-142	Oficina 142 de docentes	MODELO BÁSICO
M25-144	Oficina 144 de docentes	MODELO BÁSICO
M25-146	Oficina 146 de docentes	MODELO BÁSICO
M25-148	Oficina 148 de docentes	MODELO BÁSICO
M25-150	Aula 150	MODELO BÁSICO
M25-152	Oficina 152 de docentes	MODELO BÁSICO
M25-154	Oficina 154 de docentes	MODELO BÁSICO
M25-156	Pasillo planta alta	MODELO BÁSICO
M25-900	Edificio M25 bloque de aulas carrera de ingeniería mecánica	MODELO BÁSICO
M25-910	Gradas del edificio	MODELO BÁSICO

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

La selección del modelo de mantenimiento para los talleres y laboratorios se lo realiza con el mismo procedimiento, una vez determinada la criticidad de los sistemas o máquinas con el flujograma de la **Figura 3-20**, se procede a la selección del modelo de mantenimiento que le corresponda. En la **Tabla 3-38**, se muestra la selección del modelo de mantenimiento para el laboratorio ML160. Las tablas con la selección del modelo de mantenimiento, para de los sistemas de los laboratorios se puede ver **Anexo J**.

Tabla 3-38 Modelo de mantenimiento para el laboratorio ML160

Modelo de mantenimiento para el laboratorio ML160			
Código	Descripción	Criticidad	Modelo de mantenimiento
M-L160-001	Banco hidrostático del laboratorio de mecánica de fluidos	B	Modelo condicional
M-L160-002	Banco viscosímetro de Saybolt del laboratorio de mecánica de fluidos	B	Modelo condicional
M-L160-003	Viscosímetro Cuotte	C	Modelo básico
M-L160-004	Equipo de fuerzas hidrostáticas del laboratorio de mecánica de fluidos	C	Modelo básico
M-L160-005	Micro manómetro del laboratorio de mecánica de fluidos	C	Modelo básico

Tabla 3-38 (Continuación) Modelo de mantenimiento para el laboratorio ML160

M-L160-006	Banco vórtice forzado del laboratorio de mecánica de fluidos	B	Modelo condicional
M-L160-007	Aparato de Osborne Reynolds del laboratorio de mecánica de fluidos	C	Modelo básico
M-L160-008	Banco de pruebas para conexión de bombas en paralelo	B	Modelo condicional
M-L160-009	Banco para medidores volumétricos del laboratorio de mecánica de fluidos	B	Modelo condicional
M-L160-010	Equipo impacto de chorro del laboratorio de mecánica de fluidos	C	Modelo básico
M-L160-011	Canal de lecho ajustable (tubo Pitot)	B	Modelo condicional
M-L160-013	Banco resistencia de flujo del laboratorio de mecánica de fluidos	B	Modelo condicional
M-L160-014	Mesa de análisis de flujo laminar del laboratorio de mecánica de fluidos	C	Modelo básico
M-L160-015	Canal regulador del laboratorio de mecánica de fluidos	B	Modelo condicional
M-L160-016	Banco hidráulico del laboratorio de mecánica de fluidos	B	Modelo condicional

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

3.2.1.8 Análisis de modos y efectos de fallo

Una vez realizado el análisis de criticidad se determinaron los fallos, descripción del fallo, tipo de fallo y descripción del modo de fallo, con el fin de determinar las tareas de mantenimiento que ayuden a reducir la probabilidad de ocurrencia de un fallo.

Las fechas de inicio de las tareas de mantenimiento o cronograma, se muestran a continuación en la **Tabla 3-39**.

Tabla 3-39 Asignación de la frecuencia de mantenimiento para los equipos de estudio

Código propuesto	Descripción	Frecuencia en semanas	Fecha inicial de mantenimiento
M11	Edificio M11: Bloque de aulas carrera de ingeniería mecánica	26	10/05/2018
M17	Edificio M17: Taller de reparaciones de la facultad de mecánica	26	09/05/2018
M25	Edificio M25: Bloque de aulas carrera de ingeniería mecánica	26	09/05/2018 10/05/2018 11/05/2018
M26	Edificio M26: Bar facultad de mecánica	26	10/05/2018
M33	Edificio M33: Taller CAD CAM	26	11/05/2018
M47	Edificio M47: Baterías sanitarias facultad de mecánica	26	09/05/2018
M48	Edificio M48: Baterías sanitarias facultad de mecánica	26	

Fuente: Grupo de investigación "Gestión de mantenimiento"

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

En la **Tabla 3-40** se detalla el análisis RCM realizado para los equipos civiles.

Tabla 3-40 Análisis RCM abreviado equipos civiles

CÓDIGO	EQUIPO	DESCRIPCIÓN DEL FALLO	TIPO DE FALLO	DESCRIPCIÓN DEL MODO DE FALLO
C-CU	Aula, bodega, laboratorio, oficinas	No presta condiciones de alojamiento y confort para estudiantes y equipos de laboratorio.	Funcional	Piso y cielo raso deteriorado.
				Humedad y deterioro de paredes.
C-BÑ	S.S.H.H	No presta condiciones de confort para los estudiantes y docentes.	Funcional	Rotura en ventanas y puertas.
				Piso y cielo raso deteriorado.
				Inodoros en mal estado.
E-IL	Iluminación	No tiene iluminación	Funcional	Focos y lámparas quemados.
E-IN	Interruptores	No presta condiciones de servicio	Funcional	Interruptor en mal estado
E-TM	Tomacorriente	No suministra corriente	Funcional	Tomacorriente en mal estado
S-ET	Extintor	No presta condiciones de seguridad	Funcional	Extintor caducado
E-CB	Caja de breakers	No suministra energía eléctrica	Funcional	Terminales y breakers flojos
E-LE	Lámpara de emergencia	No presta condiciones de seguridad	Funcional	Lámpara en mal estado
S-CV	Cámara de vigilancia	La cámara no enciende	Funcional	Cámara rota
S-SH	Sensor de humo	No detecta presencia de humo	Funcional	Sensor quemado
S-SM	Sensor de movimiento	No detecta movimiento	Funcional	Sensor quemado
E-TC	Tablero eléctrico	No suministra energía eléctrica	Funcional	Contactos flojos
C-FA	Fachada	No presta condiciones de confort	Funcional	Pintura deteriorada
C-CU	Edificio	No presta condiciones de confort	Funcional	Pintura deteriorada
				Humedad y deterioro de paredes.
C-CB	Cubierta	No cubre el edificio	Funcional	Cubierta deteriorada
C-HA	Hall	No presta condiciones de confort	Funcional	Piso y cielo raso deteriorado.
C-GR	Gradas	No presta condiciones de seguridad	Funcional	Piso y pasamanos en mal estado
C-CS	Cisterna	No presta condiciones de salubridad	Funcional	Paredes y pisos en mal estado

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Para la determinación de fallos y modos de fallos, se ha considerado el contexto operacional, estos equipos se encuentran dentro del modelo básico de mantenimiento, no se estudia la clasificación del fallo.

El análisis para los equipos del laboratorio ML160, se presentan en la **Tabla 3-41**.

Tabla 3-41 Análisis RCM abreviado de equipos de laboratorio

ESTUDIO DE LAS CONSECUENCIA DE FALLOS DE EQUIPOS CRÍTICOS					
CÓDIGO DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN DEL FALLO	TIPO DE FALLO	DESCRIPCIÓN DEL MODO E FALLO	CLASIFICACIÓN DEL FALLO
M-L180-001	Turbina Francis 1 del laboratorio de turbo maquinaria	No transforma la energía	Funcional	Paletas en mal estado Rodete desgastado Nivel de agua bajo	A evitar
M-L180-002	Turbina Kaplan del laboratorio de turbo maquinaria	No transforma la energía	Funcional	Paletas en mal estado Rodete desgastado Motor no enciende Bomba quemada Tablero de control desconectado	A evitar
M-L180-003	Turbina de eje horizontal del laboratorio de turbo maquinaria	No transforma la energía	Funcional	Paletas en mal estado Rodete desgastado Bomba quemada	A evitar
M-L180-004	Banco de pruebas de bombas centrifugas en serie y paralelo del laboratorio de turbo maquinaria	No bombea el caudal requerido	Funcional	Bomba quemada Fuga en tuberías y accesorios Motor de la bomba no enciende Impulsor en mal estado	A evitar
M-L180-007	Banco de pruebas de bombas centrifugas en serie y paralelo del laboratorio de turbo maquinaria	No bombea el caudal requerido	Funcional	Bomba quemada Fuga en tuberías y accesorios Motor de la bomba no enciende Impulsor en mal estado	A evitar
M-L180-008	Banco centrifuga del laboratorio de turbo maquinaria	No bombea el caudal requerido	Funcional	Bomba quemada Fuga en tuberías y accesorios Motor de la bomba no enciende Impulsor en mal estado	A evitar
M-L180-009	Turbina Pelton de laboratorio de turbo maquinaria	No transforma la energía	Funcional	Paletas en mal estado Inyector en mal estado Motor de la bomba no enciende Tablero de control desconectado	A evitar

Tabla 3-41 (Continuación) Análisis RCM abreviado de equipos de laboratorio

M-L185-001	Centro de mecanizado vertical Bridgeport del taller CAD CAM	No se puede mecanizar las piezas en el centro de mecanizado	Funcional	Falta de presión de aire Falta de refrigerante Motor del husillo no arranca	A evitar
M-L185-002	Centro de mecanizado vertical ROMI D600 del taller CAD CAM	No se puede mecanizar las piezas en el centro de mecanizado	Funcional	Falta de presión de aire Falta de aceite en el sistema hidráulico Desalineación de ortogonalidades	A evitar
M-L185-003	Centro de mecanizado vertical ROMI D620 del taller CAD CAM	No se puede mecanizar las piezas en el centro de mecanizado	Funcional	Conexiones sueltas Falta de presión hidráulica Mesa Rotativa NC no gira	A evitar
M-L185-004	Torno CNC TTMC del taller CAD CAM	Mecanizado de piezas con defectos	Técnico	Rodamientos del motor desgastados Correas síncronas desgastadas Correas del motor flojas	A amortiguar

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

El estudio se realizó a los equipos de cada laboratorio y taller, con la información proporcionada por los encargados de los mismos, y en base a los mantenimientos limitados por motivos de garantías en los equipos o sistemas.

3.2.1.9 Plan de mantenimiento basado en RCM

Una vez determinado la estrategia de mantenimiento para los equipos civiles se obtuvo un modelo básico y para los equipos de laboratorios y talleres se obtuvieron 11 equipos críticos, 33 equipos importantes y 28 equipos prescindibles en los laboratorios y talleres, ML160, ML165, ML170, ML175, ML180, ML185, distribuidos de acuerdo al análisis.

Por lo cual existen los tres modelos de mantenimiento, modelo sistemático, modelo básico y modelo condicional, en los laboratorios de la Carrera de Ingeniería Mecánica.

En la **Tabla 3-42**, se muestra un ejemplo del plan de mantenimiento de infraestructura civil del Edificio M11, y en la **Tabla 3-43** se muestra un ejemplo del plan de mantenimiento para equipos de laboratorio y talleres. Ver **Anexo K** y **Anexo L** para el plan de mantenimiento de infraestructura civil de los demás Edificios y el plan de mantenimiento de los demás laboratorios y talleres respectivamente.

Tabla 3-42 Parte del plan de mantenimiento para la infraestructura civil del edificio M11

Plan de mantenimiento de la infraestructura civil edificio M11: Bloque de aulas Carrera de Ingeniería Mecánica							
Cód. Equipo	Equipo	Código de tarea de mantenimiento	Tarea de mantenimiento	Frecuencia	Próximo mantenimiento	Herramientas y equipos	Mano de obra (personal encargado)
M-11-002-CCU01	Laboratorio de cómputo 1	T:C	Inspección del estado de paredes, puertas, ventanas, piso y cielo raso	182 Días	09/05/2019		Técnicos (DMDF)
M-11-002-EIL01	Iluminación del laboratorio de cómputo 1 (6 lámparas fluorescentes 2x32 W)	T:C	Inspección del estado de las lámparas	182 Días	09/05/2019	Guantes aislantes	Técnicos (DMDF)
M-11-002-EIN00	Interruptores del laboratorio de cómputo 1 (1 interruptor doble)	T:C	Inspección del correcto funcionamiento del interruptor	182 Días	09/05/2019		Técnicos (DMDF)
M-11-002-ETM01	Tomacorrientes del laboratorio de cómputo 1 (9 de 110V)	T:C	Verificación del correcto funcionamiento del tomacorriente	182 Días	09/05/2019	Multímetro, lámpara piloto, guantes aislantes.	Técnicos (DMDF)
M-11-002-SCV01	Cámara de vigilancia del laboratorio de cómputo 1	T:C	Verificación del funcionamiento de la cámara de vigilancia	182 Días	09/05/2019		Técnicos (DMDF)
M-11-002-SET01	Extintor clase PQS del laboratorio de cómputo 1	T:C	Inspección del estado de la carga del extintor	364D ías	09/05/2019		Técnicos (DMDF)
M-11-004-CCU01	Laboratorio de cómputo 2	T:C	Inspección del estado de paredes, puertas, ventanas, piso y cielo raso	182 Días	09/05/2019		Técnicos (DMDF)

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Tabla 3-43 Parte del plan de mantenimiento del laboratorio ML160

Plan de mantenimiento Laboratorio M L160 mecánica de fluidos							
Cód. Equipo	Equipo	Código tarea de mantenimiento	Tarea de mantenimiento	Frecuencia	Próximo mantenimiento	Herramientas y equipos	Mano de obra (personal encargado)
M-L160-001-LBH01	Banco Hidrostático	T:A	Inspección del estado y limpieza	182 Días	18/03/2019	Caja de herramientas del laboratorio	Técnico encargado del laboratorio
M-L160-001-MDP01	Depósito de agua del banco hidrostático	T:A	Inspección purga y limpieza	182 Días	18/03/2019	Caja de herramientas del laboratorio	Técnico encargado del laboratorio
M-L160-002-EME01	Motor Eléctrico del banco viscosímetro de SAYBOLT	T:C	Inspección del estado del motor	182 Días	18/03/2019	Caja de herramientas del laboratorio	Técnico encargado del laboratorio
M-L160-002-EME01	Motor Eléctrico del banco viscosímetro de SAYBOLT	T:E	Limpieza exterior e interior del motor (carcaza-devanados)	182 Días	15/10/2019	Caja de herramientas del laboratorio	Técnico encargado del laboratorio
M-L160-002-EME02	Motor Eléctrico del banco viscosímetro de SAYBOLT	T:C	Inspección del estado del motor	182 Días	18/03/2019	Caja de herramientas del laboratorio	Técnico encargado del laboratorio
M-L160-002-EME02	Motor Eléctrico del banco viscosímetro de SAYBOLT	T:E	Limpieza exterior e interior del motor (carcaza-devanados)	28 Días	15/10/2019	Caja de herramientas del laboratorio	Técnico encargado del laboratorio
M-L160-002-ETC01	Tablero de control del banco viscosímetro de SAYBOLT	T:C	Inspección del estado de la caja de accionamiento	182 Días	18/03/2019	Caja de herramientas del laboratorio	Técnico encargado del laboratorio
M-L160-002-ETC01	Tablero de control del banco viscosímetro de SAYBOLT	T:C	Inspección y ajuste de conexiones	182 Días	18/03/2019	Caja de herramientas del laboratorio	Técnico encargado del laboratorio
M-L160-002-ETC01	Tablero de control del banco viscosímetro de SAYBOLT	T:E	Limpieza de los componentes del tablero	182 Días	18/03/2019	Caja de herramientas del laboratorio	Técnico encargado del laboratorio

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

3.3 Capacitación del personal técnico encargado.

La capacitación está enfocada y dirigida a los técnicos docentes de cada laboratorio de estudio, así como también al personal encargado del mantenimiento de la infraestructura civil el departamento de mantenimiento y desarrollo físico (DMDF) de la ESPOCH; ya que ellos serán los encargados de manejar, mejorar y ejecutar el plan de mantenimiento. La capacitación se enfoca en el manejo del software empleado, específicamente en aspectos que deben manejar los usuarios que generarán y darán seguimiento a los documentos de mantenimiento.

El programa de capacitación se presenta con los datos generales como se muestra en la **Tabla 3-44**.

Tabla 3-44 Datos generales.

FACULTAD	MECÁNICA	
CARRERA	INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO	
SEDE	ESPOCH	
TEMA	SISTEMA DE MANTENIMIENTO ASISTIDO POR ORDENADOR	
TIEMPO DE CAPACITACIÓN	DIRIGIDO A:	IMPARTIDO POR
10 horas	PERSONAL ADMINISTRATIVO Y TÉCNICO DE LOS LABORATORIOS: ML160, ML165, ML170, ML175, ML180 y ML185 DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	ALTAMIRANO ANTONIO TUTASIG JONATAN

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Caracterización del programa de capacitación.

Con este programa de capacitación se aspira la formación al personal técnico, administrativo encargado del mantenimiento de equipos e infraestructura civil de la Carrera de Ingeniería Mecánica en el manejo del sistema de mantenimiento asistido por ordenador, buscando el desarrollo tecnológico en el manejo de nuevas herramientas informáticas para la gestión de mantenimiento.

Objetivo:

Establecer los fundamentos sobre el manejo del sistema de mantenimiento asistido por ordenador dirigido al personal administrativo y técnico de los laboratorios (ML160) mecánica de fluidos, (ML165) resistencia de materiales, (ML170) metrología, (ML175)

control y automatización, (ML180) turbo maquinaria y (ML185) taller CAD CAM de la Carrear de Ingeniería Mecánica.

Cronograma:

El cronograma de la capacitación se muestra en la **Tabla 3-45**

Tabla 3-45 Cronograma de capacitación para el personal técnico de los laboratorios ML160, ML165, ML170, ML175, ML180 Y ML185

FECHA	TEMAS
17/12/2018	1. Introducción al software SisMAC
18/12/2018	2. Visualización de activos en la base de datos del software.
19/12/2018	3. Generación y recepción de solicitudes de trabajo
20/12/2018	4. Generación de órdenes de trabajo correctivas
21/12/2018	5. Generación de solicitud de materiales 6. Generación de órdenes de trabajo preventivas

Realizado por: Altamirano Antonio, Tutasig Jonatan, 2019

Metodología:

Para el desarrollo de la capacitación se aplicará la metodología con procedimientos pedagógicos y didácticos tales como:

- ✓ **Expositivo / Lección magistral:** Con exposición por parte de los instructores y la participación activa de los participantes.
- ✓ **Otros:** En base al desarrollo de herramientas audiovisuales que servirán como apoyo en el proceso de aprendizaje.

Recursos:

- ✓ **Reales:** Instructores, computadora y proyector
- ✓ **Virtuales:** Documento tutorial.
- ✓ **Áulico:** Tutorías asistidas

Ver **Anexo N.** Planificación de capacitación

3.4 Implementación del sistema de gestión de mantenimiento asistido por computador (GMAO)

Introducción

Es una herramienta informática que facilita la gestión de mantenimiento ya que es un instrumento muy versátil, tiene una gran experiencia en la gestión de mantenimiento.

3.4.1 Implementación del Software SisMAC

Previo a la manipulación y navegación del SisMAC, se debe tener una capacitación para la adquirir los conocimientos del manejo del software; es por ello que en este trabajo se dejó una guía de navegación básica del software.

3.4.1.1 Ingreso al sistema SisMAC.

Para tener acceso lo único que se necesita es tener un ordenador con conectividad y acceso a internet, ingresando al navegador de preferencia se digita la siguiente dirección <https://cloud.sismac.net/>.

Una vez ingresada a esta dirección aparecerá una ventana de diálogo como se muestra en la **Figura 3-21**, en ella se debe ingresar las credenciales institucionales que para este caso son:

Usuario: **epoch**

Contraseña: **E5Psismac**

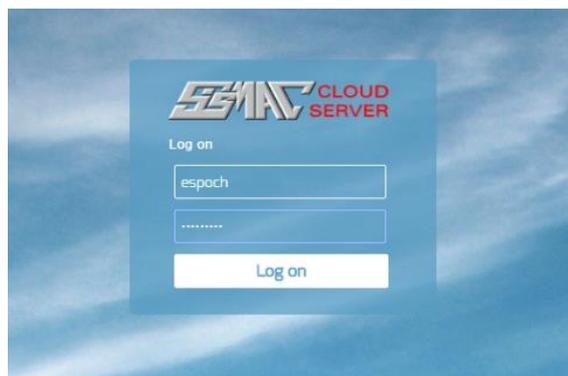


Figura 3-21 Ventana para ingreso de credenciales institucionales
Fuente: Software SisMAC

A continuación, se presenta una ventana ver la **Figura 3-22**, donde se ingresa las credenciales de usuario, personales para cada responsable del mantenimiento tanto de laboratorios, así como también de la parte civil.



Figura 3-22 Ingreso de credenciales personales
Fuente: Software SisMAC

Realizados estos pasos correctamente, se ingresa a la página principal del SisMAC, como se muestra en la **Figura 3-23**, y lo primero será finalizar con esta ventana principal y las herramientas de navegación esenciales.

En la parte superior de la ventana principal de SisMAC de la **Figura 3-24**, se encuentran las opciones generales de SisMAC, como refrescar la ventana, cerrar sesión y el título del módulo en el que se encuentra el usuario (recuadro rojo); bajo ésta, al lado derecho se encuentra el módulo (submódulo), aquí se encuentra el listado del área o ubicación al que tenga acceso (recuadro verde). Y el lado izquierdo, se divide en tres secciones: en la parte superior, se carga el ícono de infraestructura (recuadro amarillo), permite acceder a una ventana de búsqueda para ubicar rápidamente una localización. En la parte central, siempre se enlistarán los módulos y sub módulos del software a los que tiene permiso (recuadro negro), y en la parte inferior se presentan los últimos submódulos que han sido utilizados (recuadro azul), para un rápido retorno a ellos.

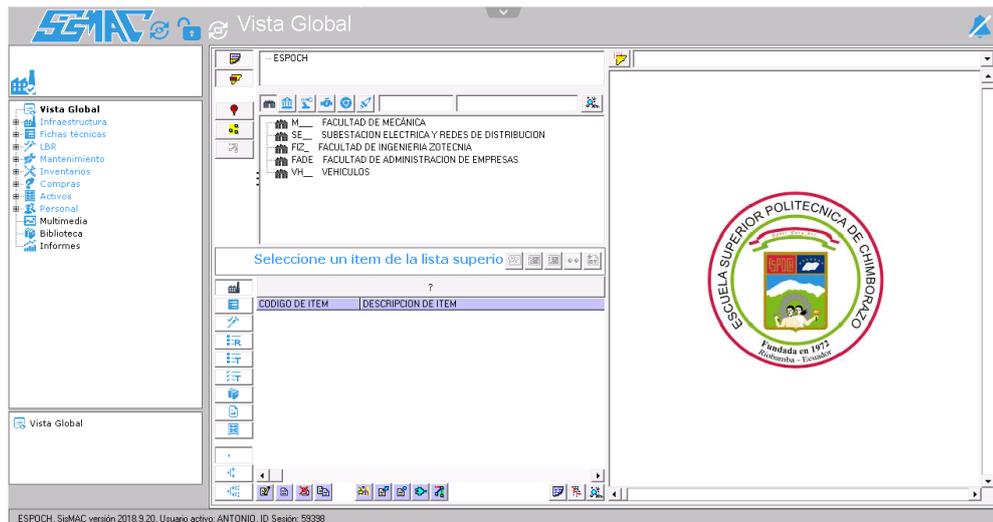


Figura 3-23 Ventana principal del SisMAC.
Fuente: Software SisMAC

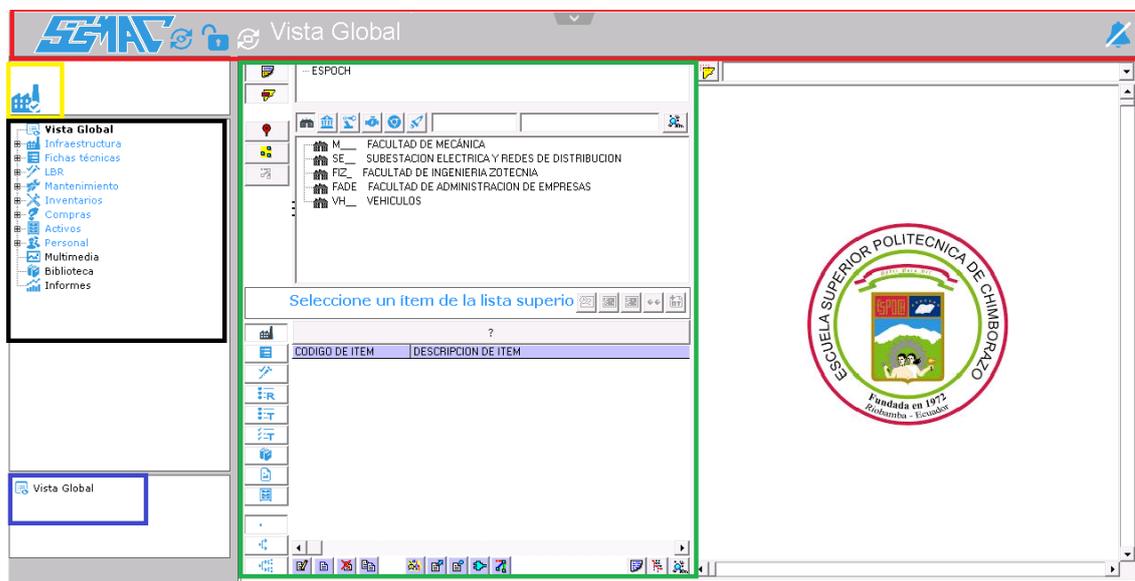


Figura 3-24 Partes básicas de la ventana principal de SisMAC
Fuente: Software SisMAC

Lo que hace cada módulo y submódulo de la **Figura 3-25**, lo describe el texto a continuación:

Infraestructura: Registra el inventario de bienes a mantener, de manera jerárquica y codificada.

Fichas técnicas: Registra la información técnica relevante, de los activos ingresados en el inventario técnico.

- ✦ **LBR (Lista Básica de Recambios):** Registra los repuestos disponibles en bodega para los equipos inventariados.
- ✦ **Mantenimiento:** Gestiona las actividades de mantenimiento, a aplicar a los bienes inventariados.
- ✦ **Inventarios:** Administra los recursos disponibles en una bodega.
- ✦ **Compras:** Registra el listado de proveedores.
- **Activos:** Información detallada de los activos.



Figura 3-25 Lista de módulos y submódulos
Fuente: Software SisMAC

Para visualizar los niveles jerárquicos que se deseen en el SisMAC, dar doble clic en el nombre del equipo y llegar hasta el nivel que se desee revisar, ver la **Figura 3-26**.

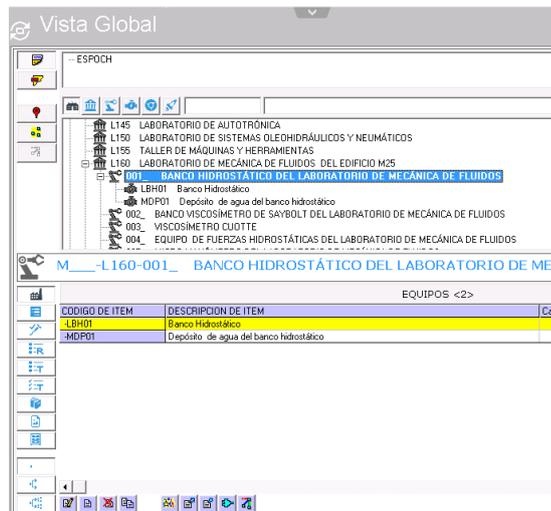


Figura 3-26 Visualización del laboratorio ML160 hasta el nivel de equipos

Fuente: Software SisMAC

Para la edición y visualización de la información existente, se muestran las siguientes herramientas que permiten la visualización de; infraestructura, fichas técnicas, listado de recambios, rutinas de mantenimiento, tareas de mantenimiento ejecutadas, documentación técnica y referencias gráficas son las que se muestran en la **Figura 3-27**.



Figura 3-27 Herramientas para la visualización de información existente.

Fuente: Software SisMAC

Mientras que las herramientas que permiten la edición, creación y eliminación de información en los diferentes módulos y submódulos son las de que se muestran en la **Figura 3-28** y están en la parte inferior izquierda.

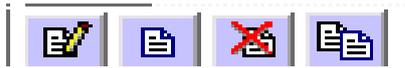


Figura 3-28 Íconos para editar, nuevo, eliminar y copiar
Fuente: Software SisMAC

El complemento de la capacitación es la creación o generación de solicitudes de trabajo y órdenes de trabajo acotando estas últimas su recepción aprobación ejecución y cierre.

3.4.1.2 Generación de solicitudes de trabajo

Una vez ingresado al sistema, aparecerá una ventana como la que se muestra en la **Figura 3-29**, donde se observa que simplemente tiene acceso a la generación de solicitudes de trabajo, como es el caso del director de la Carrera de Ingeniería Mecánica.

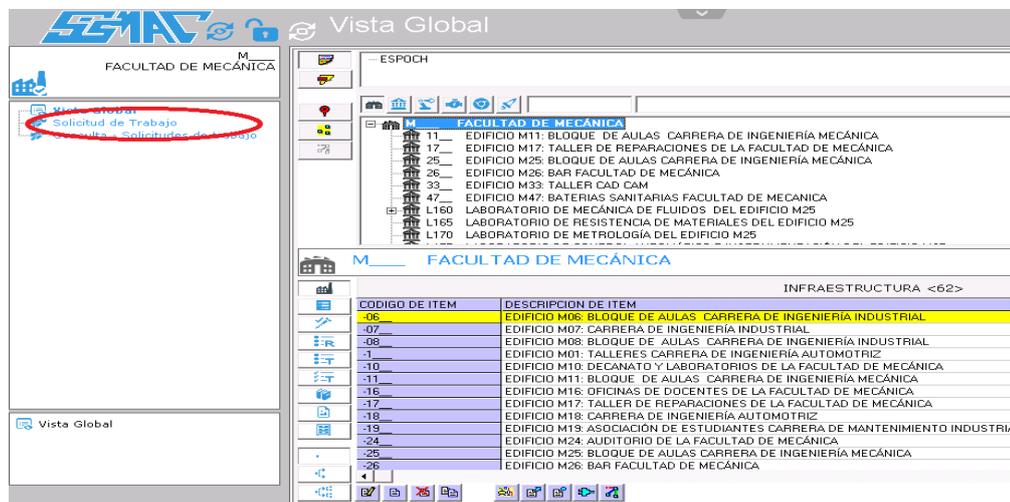


Figura 3-29 Usuario con permiso solo a la generación de solicitudes de trabajo
Fuente: Software SisMAC

Luego, dar clic en “Solicitud de trabajo”, y se abrirá a la ventana que se muestra en la **Figura 3-30**, en ella llenar los campos requeridos mínimos (Descripción ST, solicita, ejecuta, motivo, prioridad, emitido y destino) que debe contener una solicitud de trabajo, en la pestaña de datos básicos, algunos datos el programa lo llena automáticamente debido a los permisos y al usuario.

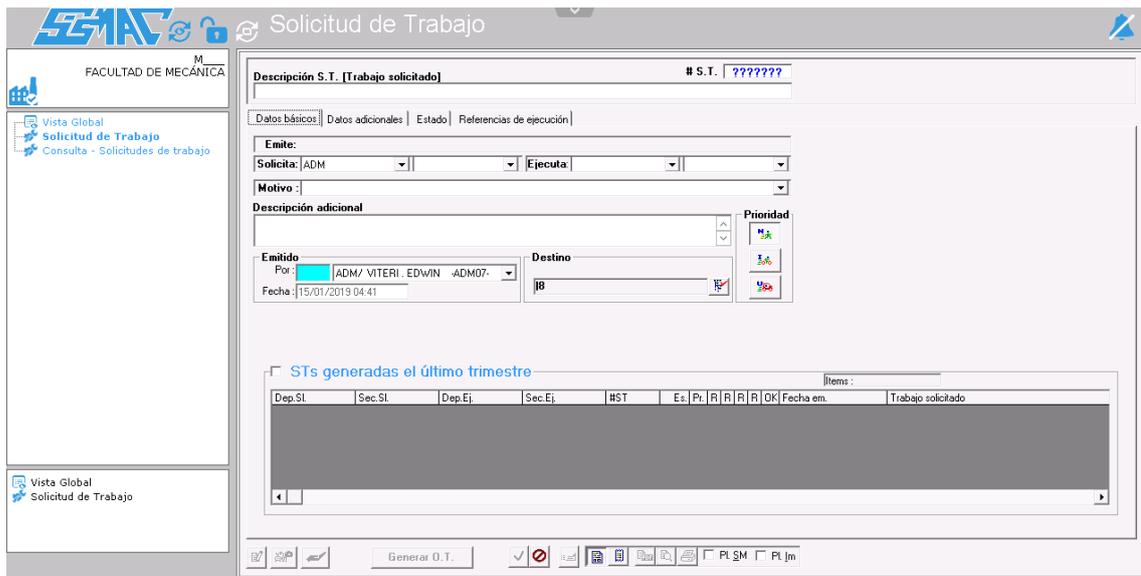


Figura 3-30 Pantalla de rellenar datos de solicitud de trabajo

Fuente: Software SisMAC

Como primer dato que se debe llenar es la descripción de la solicitud de trabajo, luego llenar el campo de quién emite y a quién se dirige la solicitud, en la pestaña “motivo” en la parte de abajo elegir de las opciones que el programa tiene configurado, un motivo; en la pestaña o campo de descripción adicional se puede llenar con alguna información adicional que pueda ser de ayuda al departamento o técnico a quien se dirige la solicitud (opcional). También se le puede asignar una prioridad a la solicitud de trabajo, entre Normal, Importante o Urgente que se le quiera dar, en la parte de “destino” se selecciona el área arquitectónica o equipo dónde se requiere el mantenimiento o trabajo que está solicitando, revisar que los campos estén llenos y la información correcta, luego dar clic en el visto de color verde en la parte inferior, y se ha generado la solicitud de trabajo, a la cual el programa le asignará automáticamente un número.

Para consultar su estado dar clic en la pestaña “estado” y observará en qué estado se encuentra la solicitud de trabajo, como se observa en la **Figura 3-31**.

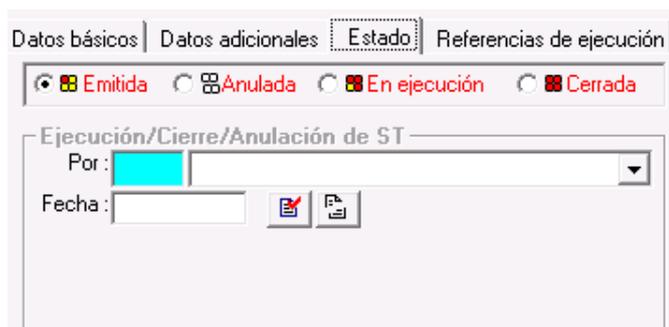


Figura 3-31 Estado de la solicitud de trabajo

Fuente: Software SisMAC

3.5 CONCLUSIONES

- El departamento de mantenimiento y desarrollo físico (DMDF) en la evaluación obtuvo una puntuación del 56%, equivalente a una gestión de mantenimiento poco satisfactoria, el laboratorio de mecánica de fluidos (ML160) es el mayor puntuado con el 24 %, sin embargo, corresponde a una gestión de mantenimiento deficiente y al laboratorio de metrología (ML170) con la menor puntuación, del 9%, equivalente a una gestión de mantenimiento también deficiente.
- Existen 103 equipos civiles y 72 equipos de laboratorio y talleres. El 100 % de los equipos civiles tienen criticidad prescindible, con un modelo de mantenimiento básico. El 15% de los equipos de laboratorios son críticos y requieren de un modelo de mantenimiento sistemático, el 46% son equipos con criticidad importante con un modelo de mantenimiento condicional y el 39% restante de los equipos de laboratorios y talleres son de criticidad prescindible y les corresponde un modelo de mantenimiento básico.
- Se capacitó a un total de 5 personas que son las encargadas del mantenimiento de los equipos de laboratorios en la Carrera de Ingeniería Mecánica.
- Se elaboraron 3 solicitudes de trabajo para el departamento de mantenimiento y desarrollo físico (DMDF) y 2 órdenes de trabajo para equipos, una para el laboratorio de mecánica de fluidos (ML160) y la otra para el laboratorio de resistencia de materiales (ML165).

3.6 RECOMENDACIONES

- El departamento de mantenimiento y desarrollo físico (DMDF), en el criterio de organización general del mantenimiento tiene un 14% de posibilidades para mejorar según la evaluación.
- Se recomienda ubicar físicamente el código en cada uno de edificios.
- Se recomienda ubicar físicamente el código en cada aula, taller, laboratorio, oficina, etc.
- Que se le preste la importancia necesaria por parte de las autoridades pertinentes a este trabajo de investigación, y se pueda agilizar el proceso para ser implementado en la ESPOCH como el modelo de gestión de mantenimiento oficial.
- A los responsables de las áreas civiles, laboratorios y talleres, se capaciten continuamente en el uso y manejo del SisMAC para la mejora continua del plan de mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

BERMÚDEZ, Luis. “Capacitación”. *Una herramienta de fortalecimiento de la pymes*”, 2015, (Costa Rica) vol XVI, n°33 (2015), pp. 6. [Consulta: 15 mayo 2018]. ISSN 2216-2458. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/666/66638602001.pdf>

CEAACES. *Informe de Autoevaluación CEAACES 2017*. 2017.

GARRIDO, García Santiago. *Organización y Gestión Integral De Mantenimiento*. Madrid: Díaz de Santos, S.A. 2013, 978-84-7978-577-2, pp. 7-128.

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

Hernández, Eduardo Segundo. *Gestión de Mantenimiento*. Riobamba: s.n., 2011

ISO14224. *Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*”. *Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos*. 1999. Second Edición Año 2006. 2006.

MOUBRAY, John. *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability-centred Maintenance)*. Edición en Español. Buenos Aires, Argentina - Madrid, España: Biddles Ltd., 2004, 09539603-2-3, pp. 16-213.

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

QUESADA, Felipe. “Métodos de evaluación sostenible de la vivienda” Análisis comparativo de cinco métodos internacionales” 2015, (Chile) vol 4 n° 1, pp. 56-67 [Consulta: 06 mayo 2018]. ISSN: 0719 - 0700. Disponible en: <file:///C:/Users/SANTIAGO/Downloads/444-Texto%20del%20art%C3%ADculo-1742-1-10-20150324.pdf>

UNE-EN-13306 (2010). *Terminología del mantenimiento*

UNE-EN13306. Mantenimiento. *Terminología del mantenimiento*. Madrid: AENOR, 2011. M 11283:2011.

Villacrés, Sergio. *Gestión de mantenimiento asistido por computador*. Riobamba: s.n., 2018.

Viscaíno, Mayra. *Método de evaluación de la gestión de mantenimiento*. Riobamba: s.n., 2018.

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.

VISCAINO, Mayra. *Desarrollo de un plan modelo de mantenimiento para el funcionamiento adecuado de los equipos eléctricos y mecánicos de un edificio de oficinas en la ciudad de Cuenca*. [En línea] 2016. [Consultado el: 18 de Mayo de 2018.] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4752/1/20T00718.pdf>.

