



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE  
MANTENIMIENTO PARA LOS LABORATORIOS DE  
MATERIALES, RESISTENCIA DE MATERIALES y  
MÁQUINAS TÉRMICAS DE LA FACULTAD DE  
MECÁNICA MEDIANTE EL SOFTWARE SisMAC”**

**MAIGUA CALERO CARLOS JULIO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN  
TIPO: PROYECTOS TÉCNICOS**

Para la obtención de título de:

**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

**RIOBAMBA-ECUADOR**

**2017**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

2015-10-08

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**MAIGUA CALERO CARLOS JULIO**

Titulado:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LOS  
LABORATORIOS DE MATERIALES, RESISTENCIA DE MATERIALES Y  
MÁQUINAS TÉRMICAS DE LA FACULTAD DE MECÁNICA MEDIANTE EL  
SOFTWARE SisMAC”**

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

**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

---

Ing. Carlos José Santillán Mariño  
**DECANO FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Verónica Elizabeth Chávez Panamito  
**DIRECTORA**

---

Ing. Eduardo Segundo Hernández Dávila  
**ASESOR**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** MAIGUA CALERO CARLOS JULIO

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** “IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LOS LABORATORIOS DE MATERIALES, RESISTENCIA DE MATERIALES y MÁQUINAS TÉRMICAS DE LA FACULTAD DE MECÁNICA MEDIANTE EL SOFTWARE SisMAC”

**Fecha de Examinación:** 2016-05-24

### RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán Gallegos <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Verónica Chávez Panamito <b>DIRECTORA</b>			
Ing. Eduardo Segundo Hernández Dávila <b>ASESOR</b>			

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

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

\_\_\_\_\_

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

---

Ing. Marco Heriberto Santillán Gallegos  
**PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**

## **DERECHOS DE AUTORIA**

El presente Trabajo de Titulación, es original y basado en el proceso de investigación y/o proyecto técnico establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**Maigua Calero Carlos Julio**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Maigua Calero Carlos Julio, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente, están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación.

---

**Maigua Calero Carlos Julio**  
Cédula de identidad: 1719824607

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto de tesis a Dios y a mis padres y a mi esposa. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento, a mi esposa, que con su apoyo y comprensión en todo momento me ha inspirado a seguir adelante, depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ellos que soy lo que soy ahora. Los amo con mi vida.

**Carlos Julio Maigua Calero**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar a Dios por haberme guiado por el camino de la felicidad hasta ahora; en segundo lugar a cada uno de los que son parte de mi familia a mi ESPOSA Rieko Oiso, mis PADRES, a mis hermanos y a todos mis tíos; por siempre haberme dado su fuerza y apoyo incondicional que me han ayudado y llevado hasta donde estoy ahora a mi directora de tesis quién me ayudó en todo momento, Ing. Verónica Chávez.

**Carlos Julio Maigua Calero**

## CONTENIDO

	Pág.
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 <i>Objetivo general</i> .....	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	2
<b>2. MARCO REFERENCIAL</b>	
2.1 Mantenimiento .....	4
2.2 Sistemas de mantenimiento.....	4
2.2.1 <i>Mantenimiento preventivo</i> .....	5
2.2.2 <i>Mantenimiento basado en la condición</i> . ....	5
2.2.3 <i>Mantenimiento programado</i> .....	6
2.2.4 <i>Mantenimiento predeterminado</i> . ....	6
2.2.5 <i>Mantenimiento correctivo</i> . ....	6
2.2.6 <i>Mantenimiento correctivo diferido</i> .....	6
2.2.7 <i>Mantenimiento correctivo inmediato</i> . ....	6
2.3 Evolución del mantenimiento .....	6
2.4 Análisis de criticidad.....	7
2.4.1 <i>Causas de paradas no planeadas</i> .....	8
2.4.2 <i>Operación del equipo</i> . ....	8
2.5 Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) .....	11
2.5.1 <i>Aplicación del RCM</i> .. ....	11
2.5.1.1 <i>Planificación</i> . ....	12
2.5.1.2 <i>Resultados del análisis de RCM</i> .....	12
2.5.2 <i>Ventajas y desventajas del RCM</i> . ....	12
2.5.2.1 <i>Ventajas del RCM</i> .....	12
2.5.2.2 <i>Desventajas del RCM</i> . ....	13
2.6 AMEF.....	13
2.6.1 <i>Funciones primarias</i> . ....	14
2.6.2 <i>Funciones secundarias</i> .....	14
2.6.3 <i>Fallas funcionales</i> . ....	15
2.6.4 <i>Modos de falla</i> .....	15
2.6.5 <i>Efectos de falla</i> .....	15
2.6.6 <i>Consecuencias de las fallas</i> .....	15
2.6.6.1 <i>Consecuencias de fallas ocultas</i> .....	15
2.6.6.2 <i>Consecuencias medioambientales y de seguridad</i> .....	16
2.6.6.3 <i>Consecuencias operativas</i> . ....	16
2.6.6.4 <i>Consecuencias no operativas</i> . ....	16
2.7 Árbol de tareas .....	19
2.8 Diagnóstico basado en la condición.....	21
2.8.1 <i>Termografía</i> .....	22
2.8.1.1 <i>Método de emisividad del material de referencia</i> .....	23
2.8.2 <i>Análisis de vibraciones</i> .....	24
2.9 Software SisMAC (Sistema de Mantenimiento Asistido por Computador)...	25

<b>3.</b>	<b>PLANIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO Y ESTADO TÉCNICO DE LOS EQUIPOS</b>	
3.1	Lista de los equipos operativos y no operativos de los respectivos laboratorios	3.2 Codific
3.2.1	<i>Listado y codificación de los equipos del Laboratorio de térmicas</i> .....	32
3.2.2	<i>Listado y codificación de los equipos del Laboratorio de Resistencia de Material</i> .....	32
3.2.3	<i>Listado y codificación de los equipos del Laboratorio de Materiales</i> .....	33
3.3	Fichas técnicas .....	35
3.4	Ficha de estado técnico .....	36
3.5	Análisis de criticidad.....	41
3.6	Análisis de modos y efectos de fallas .....	44
<b>4.</b>	<b>PROGRAMACIÓN DEL SisMAC</b>	
4.1	Implementación del SisMAC.....	49
4.2	Presentación del SisMAC.....	49
4.2.1	<i>Portada de ingreso al sistema.</i> .....	49
4.2.2	<i>Presentación del menú principal</i> .....	51
4.3	Módulos SisMAC.....	52
4.3.1	<i>Inventarios</i> .....	52
4.3.2	<i>Fichas técnicas</i> .....	54
4.3.3	<i>Tareas de mantenimiento</i> .. .....	57
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
5.1	Conclusiones .....	63
5.2	Recomendaciones .....	64

**BIBLIOGRAFÍA**  
**ANEXOS**

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1- 2.</b> matriz de criticidad .....	8
<b>Tabla 2-3.</b> Listado de equipos del laboratorio de Térmicas .....	27
<b>Tabla 3-3.</b> Listado de equipos del Laboratorio de Resistencia de Materiales .....	29
<b>Tabla 4-3.</b> Listado de equipo del Laboratorio de Materiales .....	30
<b>Tabla 5-3.</b> Codificación del Laboratorio de Térmicas .....	32
<b>Tabla 6-3.</b> Codificación del Laboratorio de Resistencia de Materiales .....	33
<b>Tabla 7-3.</b> Codificación del laboratorio de Materiales .....	34
<b>Tabla 8-3.</b> Ficha técnica .....	35
<b>Tabla 9-3.</b> Acciones sugeridas por la norma.....	36
<b>Tabla 10-3.</b> Hoja de estado técnico del generador de vapor .....	37
<b>Tabla 11-3.</b> Técnica utilizada para determinar el estado técnico de los equipos del laboratorio de Térmicas .....	38
<b>Tabla 12-3.</b> Técnica utilizada para determinar el estado técnico de los equipos del laboratorio de Resistencia de materiales .....	38
<b>Tabla 13-3.</b> Técnica utilizada para determinar el estado técnico de los equipos del laboratorio de Materiales .....	39
<b>Tabla 14-3.</b> Criticidad de los equipos del laboratorio de Térmicas .....	43
<b>Tabla 15-3.</b> Criticidad de los equipos del laboratorio de Resistencia de materiales.....	43
<b>Tabla 16-3.</b> Criticidad de los equipos del laboratorio de Materiales .....	44
<b>Tabla 17-3.</b> Criticidad de los equipos del laboratorio de Materiales .....	44
<b>Tabla 18-3.</b> AMEF .....	47
<b>Tabla 19-3.</b> Check list .....	48
<b>Tabla 20-4.</b> Niveles jerárquicos del SisMAC .....	52

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1-2.</b> Clasificación del mantenimiento.....	5
<b>Figura 2-2.</b> Evolución del mantenimiento .....	7
<b>Figura 3-2.</b> Flujo grama de criticidad .....	10
<b>Figura 4-2.</b> Visión de un intervalo fijo de fallas .....	17
<b>Figura 5-2.</b> Patrones de fallas .....	17
<b>Figura 6-2.</b> Termograma.....	24
<b>Figura 7-2.</b> SisMAC en la nube .....	25
<b>Figura 8-2.</b> Interfaz del software .....	26
<b>Figura 9-3.</b> Sistema de codificación .....	31
<b>Figura 10-4.</b> Portada de ingreso al software SisMAC .....	50
<b>Figura 11-4.</b> Ingreso al SisMAC según el usuario.....	50
<b>Figura 12-4.</b> Presentación de módulos principales .....	51
<b>Figura 13-4.</b> Ventana de vista global.....	51
<b>Figura 14-4.</b> Pantalla predeterminada según el SisMAC.....	52
<b>Figura 15-4.</b> Interfaz para ingreso de los edificios .....	53
<b>Figura 16-4.</b> Interfaz para ingreso de los módulos o sistemas.....	53
<b>Figura 17-4.</b> Interfaz para ingreso de equipos .....	54
<b>Figura 18-4.</b> Interfaz de ingreso de fichas técnicas .....	55
<b>Figura 19-4.</b> Interfaz de selección del formato de ficha técnica.....	56
<b>Figura 20-4.</b> Interfaz de ingreso de datos de ficha técnica .....	56
<b>Figura 21-4.</b> Interfaz de ingreso de datos de fichas técnicas .....	57
<b>Figura 22-4.</b> Interfaz de selección de tareas .....	58
<b>Figura 23-4.</b> Interfaz de ingreso de sub-tareas.....	58
<b>Figura 24-4.</b> Interfaz para edición de las tareas de mantenimiento .....	59
<b>Figura 25-4.</b> Interfaz de edición para las frecuencias de mantenimiento .....	60
<b>Figura 26-4.</b> Interfaz de edición de tiempos para frecuencias de mantenimiento .....	61
<b>Figura 27-4.</b> Interfaz de edición de operaciones para las frecuencias de mantenimiento .....	61
<b>Figura 28-4.</b> Interfaz de edición de los costos de mantenimiento .....	62

## LISTA DE ABREVIACIONES

SisMAC	Sistema de mantenimiento asistido por computador
RCM	Mantenimiento centrado en la confiabilidad
SS	Seguridad y salud
MA	Medio ambiente
NS	Nivel de susceptibilidad al daño
FU	Frecuencia de utilización
MTBF	Tiempo medio entre fallos
MT	Tiempo y costo de mantenimiento
AMEF	Análisis de modo y efecto de falla
C	Crítico
SC	Semicrítico
NC	No crítico

## **LISTA DE ANEXOS**

- A** Fichas técnicas y AMEF de los equipos del Lab. de Térmicas
- B** Fichas técnicas y AMEF de los equipos del Lab. de Materiales
- C** Fichas técnicas y AMEF de los equipos del Lab. de Resistencia de Materiales
- D** Estado técnico de los equipos del Laboratorio de Térmicas
- E** Estado técnico de los equipos del Laboratorio de Materiales
- F** Estado técnico de los equipos del Laboratorio de Resistencia de Materiales
- G** Árbol de tareas
- H** Criterios de seguridad para termografía
- I** Criterios de seguridad para análisis de vibraciones
- J** Tabla de severidad de vibración ISO 10816 para evaluación del estado técnico

## RESUMEN

Este trabajo de titulación detalla la implementación de un plan de mantenimiento para los equipos de los laboratorios de Térmicas, Materiales y Resistencia de Materiales de la Facultad de Mecánica, mediante la aplicación del software SisMAC. Se desarrolló una investigación en los laboratorios de la Facultad de Mecánica, llegando a la conclusión de que los planes de mantenimiento no eran los más adecuados para los equipos de dichos laboratorios. La metodología utilizada es Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, debido a las elevadas ventajas que presenta sobre las otras metodologías; se inició con la codificación de los equipos, la determinación de la criticidad, el estado técnico y finalmente se especificó las tareas proactivas a realizarse en función de los parámetros precedentemente determinados; dándole prioridad en las actividades de mantenimiento a los equipos más críticos y aquellos cuyo estado técnico es bajo. En el plan de mantenimiento, el software SisMAC asiste en la ejecución del mismo, mediante este se optimiza la administración de mantenimiento y el manejo de la documentación técnica. En este software se ingresan todos los datos recabados, desde la codificación hasta la determinación de tareas para cada equipo, el software facilita la administración de cada actividad preventiva, proactiva o correctiva a realizarse, permitiendo así el cumplimiento del plan de mantenimiento en los laboratorios. La aplicación de este proyecto ofrece mejor respuesta a cualquier tipo de fallo que pueda presentarse, una superior manipulación de la documentación técnica, un incremento de la disponibilidad, confiabilidad, mantenibilidad y seguridad en los equipos. Aplicando correctamente este plan de mantenimiento se garantiza el funcionamiento de los equipos para el uso de los estudiantes. Conforme avance la tecnología se puede complementar la información de las fichas de estado técnico con la ayuda de otro tipo de diagnóstico o equipo basado en la condición.

**PALABRAS CLAVE:** <MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD>, <SISTEMA DE MANTENIMIENTO ASISTIDO POR COMPUTADOR >, <ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLOS>, <ANÁLISIS DE CRITICIDAD>, <MANTENIMIENTO PREVENTIVO>, <EQUIPOS Y HERRAMIENTAS>, <ESTADO TÉCNICO>, <INSTRUMENTACIÓN DE LABORATORIO>

## **ABSTRACT**

This research details the implementation of a maintenance plan for the equipment of the Thermics, Materials and Resistance Laboratories of the Faculty of Mechanics, through the application of the SisMAC software. An investigation was carried out in the laboratories of the Faculty of Mechanics, arriving at the conclusion that the maintenance plans were not the most suitable for the equipment of these laboratories. The methodology used is Reliability Centered Maintenance, due to the high advantages it presents over other methodologies. It began with the codification of the equipment, the determination of criticality, the technical state and finally it was specified the proactive tasks to be carried out in function of the parameters previously determined; giving priority in maintenance activities to the most critical equipment and those whose technical status is low. In the maintenance plan, the SisMAC software assists in the execution of it, by means of this it is optimized the administration of maintenance and the handling of the technical documentation. In this software, all collected data are entered, from coding to the task determination for each equipment, the software facilitates the administration of each preventive, proactive or corrective activity to be performed, thus allowing the compliance of the maintenance plan in the laboratories. The application of his project offers the best response to any type of fault that may arise, superior handling of technical documentation, increased availability, reliability, maintainability and safety in equipment. By correctly applying the maintenance plan ensures the operation of equipment for student use. As the technology progresses, the information of the technical status cards can be supplemented with the help of another type of diagnosis or equipment based on the condition.

**KEY WORDS:** <MAINTENANCE-FOCUSED ON RELIABILITY>, <COMPUTER-AIDED MAINTENANCE>, <FAULT AND MODE ANALYSIS>, <LABORATORY INSTRUMENTATION>

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

En la actualidad las máquinas están presentes en todo tipo de proceso industrial en mayor o menor grado, estas funcionan en diversos campos y procesos teniendo así una interacción directa con el medio, por lo que están expuestas a desgaste desde el momento exacto de su puesta en marcha, precipitándose de manera progresiva hasta el punto de perder totalmente la capacidad de desempeñar la o las tareas para las que fue diseñada. Para mitigar esta situación existen sistemas de mantenimiento que ayudan a que un equipo cumpla su vida útil de manera segura para los usuarios y en armonía con el medio ambiente. La industria en general depende de equipos que estén funcionando adecuadamente y con una probabilidad de falla relativamente baja.

Con una visión moderna, el mantenimiento pretende que los equipos cumplan con los requerimientos del usuario haciendo uso de su capacidad instalada, ya que en la mayoría de los casos difiere de la capacidad de diseño de los mismos. El mantenimiento ha evolucionado conforme a los diversos tipos de modos de fallo, estos modos de fallo que a través del tiempo se han podido identificar. Son tan diversas las máquinas dentro de la industria así como la variedad de modos y consecuencias de fallo que estas pueden experimentar, el mantenimiento se centra en mitigar de forma parcial o total cualquier tipo de anomalía en el funcionamiento de los activos, a fin de alcanzar los objetivos para los cuales se adquirieron los mismos.

Así como la tecnología avanza cada día en beneficio de la humanidad, para el mantenimiento no podía ser de otra manera; entre los múltiples adelantos se encuentran los paquetes informáticos, pensados y diseñados para optimizar el tiempo y los recursos, y, de acuerdo con los objetivos del mantenimiento sería poco sabio dejarlos de lado a la hora de implementar un plan, puesto que permiten realizar un seguimiento y evaluación de todo tipo de actividad, evitando que el técnico a cargo o personal de mantenimiento recorra largas distancias y realice un sin número de papeleos.

## **1.2 Justificación**

La Facultad de Mecánica desde su creación el 3 de abril de 1973 cuenta con talleres y laboratorios, los cuales son de valiosa ayuda para la formación de los estudiantes que a diario atraviesan por los mismos, permitiendo aplicar lo aprendido en las aulas por medio de la práctica.

Estos talleres y laboratorios están equipados con máquinas, equipos e instrumentos, los mismos que poseen con un plan de mantenimiento basado en recomendaciones del fabricante y basados en protocolos; dando como resultado tareas de mantenimiento que no se ajustan a las necesidades y requerimientos de los distintos equipos en los laboratorios.

Por lo que existe la necesidad de revisar esta información y someterla a un análisis de criticidad, modo y efecto de falla, para cada equipo, y de esta manera obtener un plan de mantenimiento adecuado al contexto operativo de los laboratorios de Térmicas, Materiales y Resistencia de Materiales de la Facultad de Mecánica.

Para lograr todo lo mencionado, se cuenta con el software de gestión de mantenimiento asistido por ordenador SisMAC, en éste se digitaliza toda la información relacionada con el mantenimiento de los equipos y máquinas de los Laboratorios de Térmicas, Materiales y Resistencia de materiales.

## **1.3 Objetivos**

**1.3.1** *Objetivo general.* Implementar un plan de mantenimiento para los laboratorios de Térmicas, Materiales y Resistencia de Materiales de la Facultad de Mecánica mediante el software SisMAC.

**1.3.2** *Objetivos específicos:*

- Analizar el plan actual de mantenimiento de los laboratorios de Térmicas, Materiales y Resistencia de Materiales de la Facultad de Mecánica, el mismo que servirá como una línea base de este trabajo de titulación.
- Determinar el estado actual de los equipos.

- Elaborar la hoja de datos técnicos de los equipos de los laboratorios correspondientes.
- Realizar el análisis de criticidad de los equipos de los laboratorios.
- Elaborar el plan de mantenimiento y generar la base de datos en el programa SisMAC.

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO REFERENCIAL**

#### **2.1 Mantenimiento**

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-EN13306, 2011)

#### **2.2 Sistemas de mantenimiento**

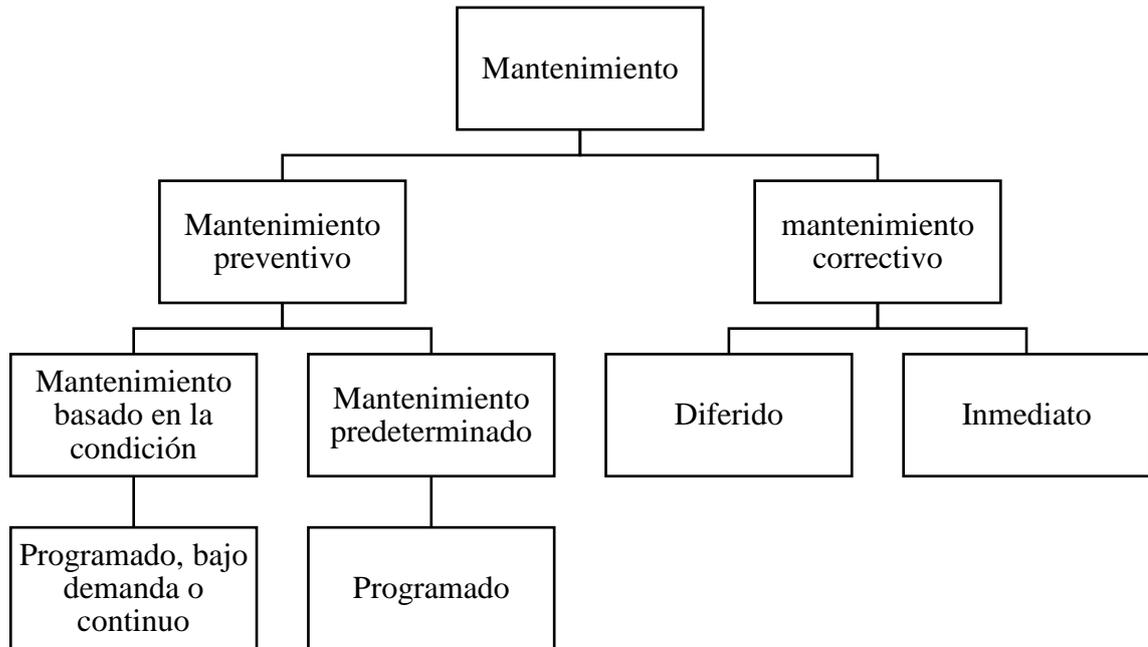
Debido a la globalización y a los ambientes altamente competitivos con los cuales las empresas deben enfrentarse en la actualidad, los sistemas de mantenimiento juegan un papel muy importante en la producción y las operaciones de las empresas. Un buen sistema de mantenimiento, garantiza la continuidad en los procesos productivos y de igual forma asegura una calidad de salida satisfactoria.

De la variedad de sistemas de mantenimiento que se presentan en libros, revistas y publicaciones; sólo unos pocos son los más sobresalientes para este caso. El enfoque sistémico kantiano plantea la posibilidad de estudiar y entender cualquier fenómeno, dado que define que un sistema, está compuesto básicamente por tres elementos: personas, artefactos y entorno. (MORA, 2012)

Es necesario que dentro de los sistemas de mantenimiento, se haga especial énfasis en el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM). Esta es una filosofía y modo de trabajo en el cual se involucra a todo el recurso humano en la implementación de los sistemas de mantenimiento. Se presentan las características más significativas de esta metodología ya que este trabajo de titulación está basado en este sistema de mantenimiento. Probablemente, en los primeros años del desarrollo de las industrias, las tareas de mantenimiento se hayan limitado a efectuar reparaciones o cambios de piezas luego de que éstas fallaran o en algunos casos, a realizarlas antes de que estas se presenten. (MOUBRAY, 1996)

Actualmente existen variados sistemas para encarar el servicio de mantenimiento de las instalaciones en operación, algunos de ellos no solamente centran su atención en la tarea de corregir las fallas, sino que más bien lo que se trata de prevenir son las consecuencias de las fallas. (MOUBRAY, 1996)

Figura 1-2. Clasificación del mantenimiento



Autor: UNE-EN 13306

**2.2.1** *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-EN13306, 2001)

**2.2.2** *Mantenimiento basado en la condición.* Mantenimiento preventivo que incluye una combinación de monitorización de la condición y/o la inspección y/o los ensayos, análisis y las consiguientes acciones de mantenimiento. (UNE-EN13306, 2011)

**2.2.3** *Mantenimiento programado.* Mantenimiento que se realiza de acuerdo con un programa de calendario establecido o un número establecido de unidades de utilización. (UNE-EN13306, 2001)

**2.2.4** *Mantenimiento predeterminado.* Mantenimiento preventivo que se realiza de acuerdo con intervalos de tiempo establecidos o con un número definido de unidades de funcionamiento, pero sin investigación previa de la condición. (UNE-EN13306, 2001)

Nota: Los intervalos de tiempo o el número de unidades de funcionamiento se pueden establecer a partir del conocimiento de los mecanismos de fallo del elemento.

**2.2.5** *Mantenimiento correctivo.* Mantenimiento que se realiza después del reconocimiento de una avería y que está destinado a poner a un elemento en un estado en que pueda realizar una función requerida. (UNE-EN13306, 2001)

**2.2.6** *Mantenimiento correctivo diferido.* Mantenimiento correctivo que no se realiza inmediatamente después de detectarse una avería, sino que se retrasa de acuerdo con reglas dadas. (UNE-EN13306, 2001)

**2.2.7** *Mantenimiento correctivo inmediato.* Mantenimiento correctivo que se realiza sin dilación después de detectarse una avería, a fin de evitar consecuencias inaceptables. (UNE-EN13306, 2011)

## **2.3 Evolución del mantenimiento**

Desde que se inventaron los primeros utensilios para uso diario, nació la necesidad de mantenimiento en aquel entonces conocido con otros nombres, pero en la práctica lo que se realizaba era alguna actividad de mantenimiento. Lógicamente conforme avanza la tecnología, los utensilios básicos ingenieros por los primeros humanos han evolucionado hasta convertirse en complejas máquinas y grandes instalaciones, utilizadas en la industria para satisfacer las necesidades de la sociedad y obviamente para cumplir un fin y objetivo específico. En las últimas décadas donde más se evidencia la evolución del mantenimiento, respondiendo siempre a las exigencias de la época; hoy en día mantenimiento no solo vela por los bienes y activos físicos, sino que está pendiente de la seguridad del personal laborante y el medio ambiente, es decir que

estos no salgan perjudicados mientras se lleva a cabo los diversos procesos productivos. (MOUBRAY, 1996)

El hecho de que no exista una frontera clara entre unas etapas y otras se debe a varios factores. Lo fundamental es que cada sector de la industria ha evolucionado de forma diferente. Por poner un ejemplo, la aeronáutica ha ido siempre muy por delante del sector industrial, naval y ferroviario. En el sector de la aviónica es donde se han experimentado las primeras tecnologías predictivas, los primeros sistemas de monitorización, etc. Por ello la evolución del mantenimiento durante el siglo xx ha tenido cuatro etapas muy claras, a las que llamaremos a partir de ahora primera, segunda, tercera y cuarta generación. (GONZÁLES FERNÁNDEZ, 2005)

Figura 2-2. Evolución del mantenimiento

EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO			
<u>Primera Generación</u>	<u>Segunda Generación</u>	<u>Tercera Generación</u>	<u>Cuarta Generación</u>
Repara cuando se rompe	Mayor disponibilidad de plantas Vida de equipos más extensa Costos más bajos	Más confiabilidad de plantas Mayor seguridad Mejor calidad del producto No perjudican el medioambiente Vida más extensa de los equipos Normas internacionales	Mayor disponibilidad y fiabilidad Mayor seguridad Mayor calidad del producto Respeto al medio ambiente Mayor vida de los equipos Mayor mantenibilidad Eficiencia de costes Patrones de fallos Eliminación de los fallos

1940      1950                      1960      1970                      1980                      1990                      2000      2013

Fuente: (GONZÁLES FERNÁNDEZ, 2005)

## 2.4 Análisis de criticidad

Es un procedimiento que permite formar jerarquías o prioridades de procesos, sistemas y equipos, formando una estructura que facilita la toma de decisiones, enfocando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual. El mejoramiento de la confiabilidad operacional de cualquier instalación o de sus sistemas y componentes, está asociado con cuatro aspectos fundamentales: confiabilidad humana, confiabilidad del proceso, confiabilidad del diseño y la confiabilidad del mantenimiento. El análisis de criticidades genera una lista ponderada desde el elemento más crítico hasta el menos crítico del total del universo analizado, diferenciando tres zonas de clasificación: crítico,

semicrítico y no crítico. Los aspectos fundamentales para evaluar un análisis de criticidad son los siguientes, pero cabe recalcar que estos pueden cambiar de acuerdo al contexto operacional dividido en dos grupos de tres los primeros son causas de paradas no planeadas y los segundos por la operación del equipo. (JUAREZ, 2007)

#### 2.4.1 Causas de paradas no planeadas.

- Seguridad y salud (SS)
- Medio ambiente (MA)
- Calidad y productividad (CP)
- Producción (P)

#### 2.4.2 Operación del equipo.

- Tiempo de operación (TO)
- Intervalo entre actividades (TBF)
- Tiempo y costo de mantenimiento (MT)

Tabla 1 - 2. Matriz de criticidad

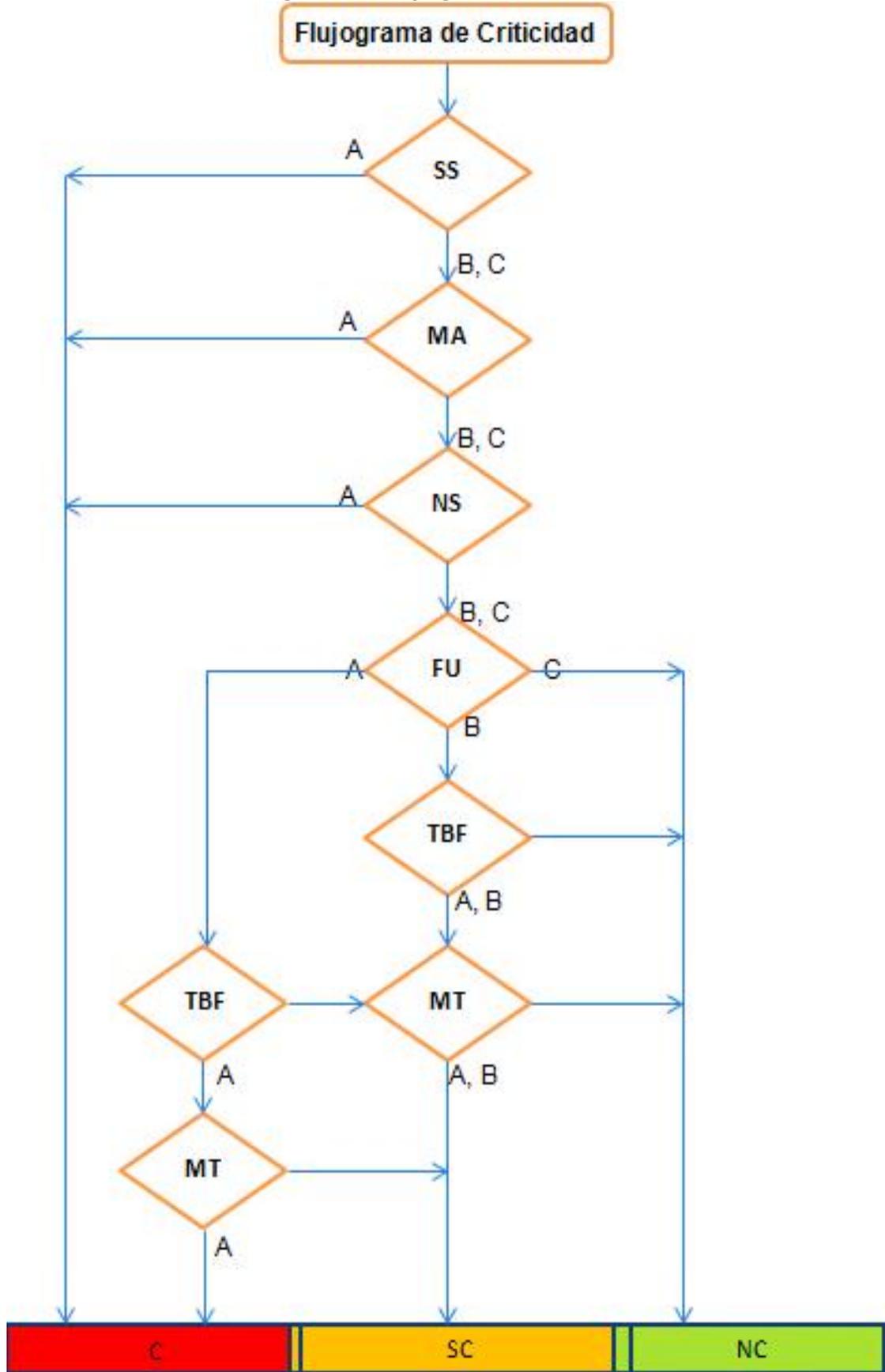
<b>Matriz de criticidad</b>			
<b>Causas de paradas no planeadas</b>			
<b>Área de impacto</b>	<b>A Riesgo Alto</b>	<b>B Riesgo Medio</b>	<b>C Riesgo bajo</b>
<b>Seguridad y salud (SS)</b>	Alto riesgo de vida del personal	Riesgo de vida significativa del personal	No existe riesgo ni de salud ni de daños del personal
	Daños graves en la salud del personal	Daños menores en la salud del personal	
<b>Medio ambiente (MA)</b>	Alto excedente de los límites permitidos de derrames y fugas	Excedente de los límites permitidos y repetitivos de derrames y fugas	Emisiones normales de la planta dentro de los límites permitidos
<b>Operación del equipo</b>			
<b>Área de impacto</b>	<b>A Riesgo Alto</b>	<b>B Riesgo Medio</b>	<b>C Riesgo bajo</b>
<b>Nivel de susceptibilidad al daño (NS)</b>	Muy susceptible al daño	Nivel medio de susceptibilidad	No es muy susceptible al daño
<b>Frecuencia de utilización (FU)</b>	Más de 5 veces al semestre	De 1 – 4 veces utilizados al semestre	No se utiliza ninguna vez en el semestre
<b>Intervalos entre actividades (TBF)</b>	Menos de 1 año	Cada 2 años	3 años o más
<b>Tiempo y costo de mantenimiento (MT)</b>	Tiempo y/o costo de	Tiempo y/o costos de reparación razonable	Tiempo y/o costos de reparación irrelevantes

	reparación altos		
--	------------------	--	--

Fuente: RCM II

La matriz de criticidad se analiza de la mano con el flujo grama de criticidad su compresión se facilita cuando se estudian juntas, con la aplicación de estas se determina la criticidad que poseen cada equipo, máquina o elemento que se tenga presente.

Figura 3-2. Flujo grama de criticidad



Fuente: (AGUERO, 2007)

## 2.5 EL RCM

Mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC), o Reliability Centred Maintenance (RCM) se ha desarrollado desde 1978, este tipo de mantenimiento permite determinar las tareas más adecuadas para un activo físico; este además presenta una gran ventaja sobre el resto debido a que fue desarrollado en el sector de la aviación y posteriormente en el campo industrial. El RCM incita a responder las siguientes siete preguntas sobre el bien o sistema bajo revisión, las cuales son: (SAE-JA1011, 1999)

- ¿Cuáles son las funciones y respectivos estándares de desempeño de este bien en su contexto operativo presente?
- ¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?
- ¿Qué ocasiona cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando se produce cada falla en particular?
- ¿De qué modo afecta cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra el plan de acción apropiado? (MOUBRAY, 1996)

**2.5.1** *Aplicación del RCM.* Para poder aplicar un proceso como este se debe primero conocer cuáles son los bienes que esta posee y cuáles de estos pueden ser sometidos a dicho procedimiento.

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) fue desarrollado en los años 70's por la industria de la aviación. RCM es considerado el método más efectivo para determinar políticas de gestión de consecuencias de fallas de activos físicos. La sociedad americana de ingenieros automotrices (SAE) estableció en 1999 el estándar internacional SAE JA1011 (Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance). Su propósito fue aclarar los requerimientos mínimos para que un proceso de análisis se considere en conformidad con el método original, según fue concebido por la industria aeronáutica. La clase se concentra en la enseñanza práctica de los fundamentos del RCM de acuerdo a la norma SAE en conjunto con la introducción de herramientas de ingeniería de confiabilidad que lo complementan y lo reinventan. (Reliability Centered Maintenance Reengineered (RCM-R): Practical Optimization of the RCM, 2017)

**2.5.1.1** *Planificación.* Los elementos claves para el proceso de planificación son:

- Decidir que bienes son los que obtendrán mayor beneficio del proceso RCM, y cómo exactamente se verán beneficiados.
- Evaluar los recursos necesarios para aplicar el proceso a los bienes seleccionados.
- En casos donde los posibles beneficios justifican la inversión, decidir detalladamente quién llevará a cabo el proceso y quién auditará cada análisis, dónde, cómo, y hacer todos los arreglos para que reciba el entrenamiento necesario.
- Asegurar que el contexto operativo del bien, se entiende con claridad.  
(MOUBRAY, 1996)

**2.5.1.2** *Resultados del análisis de RCM.* Si es aplicado de manera correcta este tendrá tres resultados tangibles:

- Plan de mantenimiento a seguir por el sector competente.
- Procedimientos seguros para los operadores del bien físico.
- Una lista de áreas donde deban realizarse cambios en función a la configuración actual.

**2.5.2** *Ventajas y desventajas del RCM.*

**2.5.2.1** *Ventajas del RCM.*

- Garantiza el funcionamiento seguro y confiable de máquinas y/o equipos.
- Reducciones de costos, directos e indirectos, porque mejora la calidad del programa de mantenimiento
- Satisface las normas de seguridad y medio ambiente.

- El R.C.M. incentiva la relación entre distintas áreas de la empresa, creando de esta manera un ambiente de compañerismo al interior de la organización.
- Disminuye los costos por mantenimiento innecesarios basados en la confiabilidad de los equipos.
- Su lenguaje técnico es común, sencillo y fácil de entender para todos los empleados vinculados al proceso, permitiendo al personal involucrado en las tareas saber qué pueden y qué no pueden esperar de ésta aplicación y quién debe hacer qué para conseguirlo.

#### **2.5.2.2** *Desventajas del RCM.*

- El R.C.M. requiere un amplio conocimiento acerca de la fiabilidad y mantenibilidad del sistema y todos sus componentes.
- El personal de mantenimiento necesita un amplio conocimiento sobre la funcionalidad de cada elemento de las máquinas y/o equipos.
- Requiere de mucha inversión en capacitación al personal de mantenimiento para la implementación del RCM.
- Demanda el conocimiento de normas, las cuales especifican las exigencias que debe cumplir un proceso para poder ser denominado R.C.M.
- Necesita el apoyo de todos los recursos humanos involucrados en la entidad productiva, lo cual por lo general es difícil al principio. (MOUBRAY, 1996)

## **2.6** **AMEF**

El AMEF (Análisis del Modo y Efectos de Fallos) es una metodología utilizada para reconocer y/o identificar las fallas potenciales de un proceso productivo o diseño de un producto, que generalmente se realiza en la planificación (antes que estas ocurran) con el propósito de eliminarlas o de minimizar el riesgo asociado a las mismas. (NAVIAIR, 2005)

Esta metodología se dio inicio en la NASA, creándose para evaluar la confiabilidad de los equipos y sistemas aeronáuticos. Los parámetros que se toman en cuenta en este proceso metodológico son:

- Función
- Falla funcional
- Modo de falla
- Efecto de falla
- Consecuencia del modo de falla (CARBONE, 2004)

Lo primero es asegurarse que todo bien físico que se analice esté cumpliendo con todas sus funciones dentro de su contexto operativo y para ello se necesita tener presente dos cosas:

- Determinar cuál es la función que los usuarios quieren que se cumpla.
- Asegurar que el bien es capaz de cumplir con lo que los usuarios esperan.

Las funciones con las cuales un bien físico puede contar se categorizan de la siguiente manera:

**2.6.1** *Funciones primarias.* Que sintetizan porqué el bien fue adquirido en primer lugar. Esta categoría de funciones cubren temas tales como velocidad, rendimiento, capacidad de transportación o almacenamiento, calidad del producto y servicio al cliente. (MOUBRAY, 1996)

**2.6.2** *Funciones secundarias.* Que indican que se espera que todo bien produzca más que simplemente su función primaria. Los usuarios también tienen expectativas en áreas como seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia de operación, cumplimiento con las normas de medio ambiente, y hasta la estética o apariencia del bien. (MOUBRAY, 1996)

Estas funciones entran en falla cuando por alguna causa dejan de cumplir con el desempeño u objetivo para el cual fueron construidas.

**2.6.3** *Fallas funcionales.* En el mundo de RCM, los estados de falla son conocidos como fallas funcionales, porque ocurren cuando un bien es incapaz de cumplir una función a un nivel de desempeño que sea aceptable por el usuario, hecho similar ocurre con las funciones secundarias. (MOUBRAY, 1996)

Dentro del RCM y gracias al sin número de herramientas con las cuales se cuenta es importante determinar primeramente el tipo de falla, este proceso se realiza de dos maneras:

- Primero, identificando qué circunstancias llevaron a un estado fallido al equipo.
- Luego investigando qué situaciones son las causantes de que un bien caiga en ese estado de falla.

**2.6.4** *Modos de falla.* Son todas las posibles causas de este estado de error. Estas causas se deben identificar de manera clara para evitar desperdiciar tiempo y recursos en tratar síntomas en lugar de causas. (MOUBRAY, 1996)

**2.6.5** *Efectos de falla.* Lo que sucede cuando se presenta cada modo de falla. La descripción de estos efectos debe incluir toda la información necesaria para respaldar la evaluación de las consecuencias de falla que se realiza posteriormente a través de:

- Evidencias de que ocurrió la falla.
- De qué manera representa una amenaza para el medio ambiente.
- De qué modo afecta a la producción u operación.
- Qué debe hacerse para reparar la falla (MOUBRAY, 1996)

**2.6.6** *Consecuencias de las fallas.* Cada falla afectan a la organización en alguna escala, pero en cada caso los efectos son diferentes. Pueden afectar la operatividad. También pueden afectar la calidad del producto, servicio al cliente, seguridad del medioambiente. Todas significaran el gasto de tiempo y dinero para repararlas. El RCM clasifica a las consecuencias de las fallas de la siguiente manera:

**2.6.6.1** *Consecuencias de fallas ocultas.* Las fallas ocultas no causan un impacto

directo, pero exponen a la empresa a fallas múltiples, con consecuencias serias y frecuentemente catastróficas. (La mayoría de estas fallas están asociadas con sistemas de protección no libres de fallas) (MOUBRAY, 1996)

**2.6.6.2** *Consecuencias medioambientales y de seguridad.* Una falla trae consecuencias de seguridad si potencialmente puede dañar o causar la muerte. Tiene consecuencias medioambientales si provoca la violación de cualquier norma medioambiental corporativa, regional, nacional o internacional. (MOUBRAY, 1996)

**2.6.6.3** *Consecuencias operativas.* Una falla trae consecuencias operativas cuando afecta la producción (rendimiento, calidad del producto, servicio al cliente o costos operativos, además del costo directo de reparación.) (MOUBRAY, 1996)

**2.6.6.4** *Consecuencias no operativas.* Las fallas evidentes que conforman esta categoría, no tienen consecuencias ni de seguridad, ni de protección, de modo que solo implican el costo de reparación. (MOUBRAY, 1996)

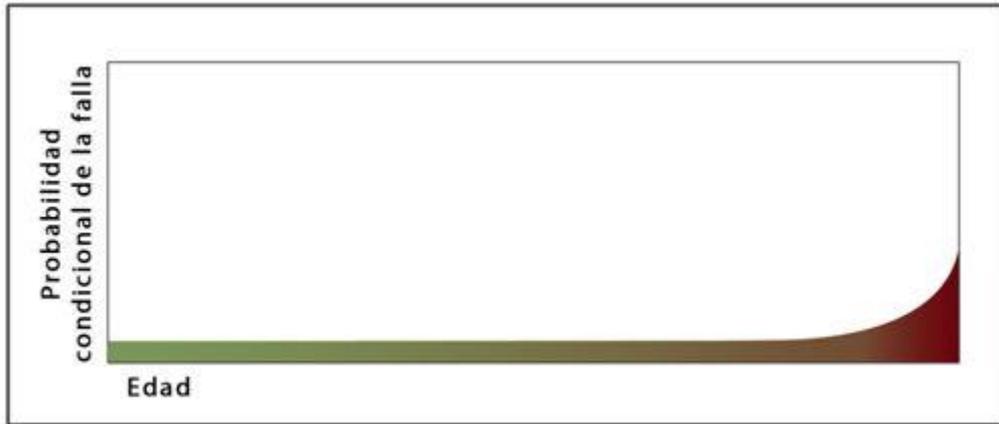
Para manejar todos estos diversos modos de falla existen diferentes opciones, estas técnicas se dividen en dos categorías:

- **Tareas proactivas.** Son los trabajos realizados antes de que la falla ocurra, para prevenir que el equipo llegue a un estado de falla. Esto abarca lo que se conoce tradicionalmente como mantenimiento “predictivo” o “preventivo”. Aunque veremos más adelante que RCM utiliza los términos restauración programada, descarte programado o mantenimiento en condición.
- **Acciones de omisión.** Estas se encargan del estado de falla, y son utilizadas cuando no es posible identificar una consigna proactiva efectiva. Las acciones de omisión incluyen búsqueda de la falla, rediseño, y acudir a la falla. (MOUBRAY, 1996)

Se piensa que la forma más óptima de alcanzar la capacidad máxima de una planta es con una rutina de mantenimiento proactivo a través del reemplazo o reparación de

componentes a intervalos fijos lo que se entiende de una mejor manera con la siguiente figura, la cual muestra una curva constante de fallas. (MOUBRAY, 1996)

Figura 4-2. Visión de un intervalo fijo de fallas

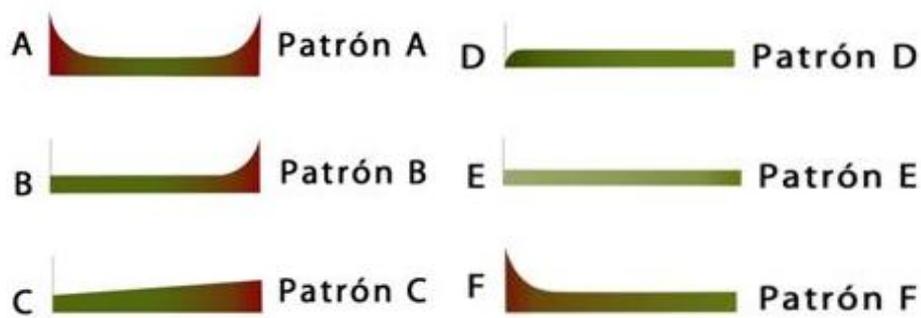


Autor: John Moubray

La siguiente gráfica se basa en la operatividad de los equipos en un tiempo determinado X, se cree que un registro detallado de las fallas permitirá determinar la vida útil de los equipos y conforme a eso aplicar las tareas y acciones preventivas antes que el ítem comience a fallar.

Este modelo es útil para ciertos tipos de equipos simples, y para algunos más complejos con modos de fallas dominantes. En particular las características de durabilidad se encuentran cuando el equipo tiene contacto directo con el producto. Las fallas relacionadas a la edad se asocian con frecuencia con la fatiga, corrosión, abrasividad y evaporación.

Figura 5-2. Patrones de fallas



Autor: John Moubray

Después de identificarse los distintos conceptos y detalles referentes a la vida útil de los

equipos que engloba el RCM, a continuación se introduce al AMEF que es una herramienta importante dentro de la aplicación de este mantenimiento. El patrón A es la tan conocida “curva de la bañera”.

Comienza con una incidencia alta de falla (conocida como mortalidad infantil) seguida por una probabilidad de falla condicional en lento o constante crecimiento, luego por la zona de desgaste. El patrón B muestra una probabilidad de falla creciente, finalizando en una zona de desgaste. (MOUBRAY, 1996)

El patrón C muestra una probabilidad de falla creciente pero no hay una edad de desgaste identificable. El patrón D muestra una baja probabilidad de falla cuando el equipo es nuevo o recién comprado, y luego se incrementa rápidamente a un nivel constante, mientras que el patrón E muestra una permanente probabilidad condicional de fallas a cualquier edad, (fallas casuales) El patrón F comienza con una mortalidad infantil alta, que disminuye eventualmente a una probabilidad condicional de falla muy lenta. Los estudios realizados a una aeronave civil mostraron que un 2% de los ítems respondían al Patrón A, 2% al B, 5% al C, 7% al D, 14% al E y no menos del 68% al patrón F. ( El número de veces que estos patrones se presentan en aeronaves, no es necesariamente el mismo que para la industria. Pero no hay duda de que a medida que los equipos se vuelven más complejos, se pueden observar más y más patrones E y F. (MOUBRAY, 1996)

El AMEF es una metodología analítica usada para asegurar que problemas potenciales se han considerado y abordado a través de un proceso productivo. El resultado más visible es la documentación de conocimientos en forma colectiva de grupos multifuncionales. El punto importante es que se conduzca una discusión en relación al diseño, la revisión de las funciones y cambios en la aplicación, y los riesgos resultantes de las fallas potenciales. Cada AMEF debiera asegurar que se ha dado atención a cada componente dentro del producto o ensamble. Para componentes o procesos críticos o relacionados con la seguridad se les debiera dar una alta prioridad. Uno de los factores más importantes para la implementación exitosa de un programa de AMEF es tiempo y oportunidad. Significa que es una acción “antes-del-evento”, y no un ejercicio “después-del-hecho”. Para lograr el mayor valor, el AMEF debe hacerse antes de la implementación de un producto o proceso en el cual existe el potencial de modos de

falla. Tiempo por anticipado invertido apropiadamente en completar un AMEF, cuando los cambios del producto/proceso pueden ser implementados más fácil y económicamente, minimizaría la crisis de cambios tardíos. Las acciones que resulten de un AMEF pueden reducir o eliminar la probabilidad de implementar un cambio que crearía aún un aspecto de preocupación más grande. Idealmente, el proceso del AMEF de Diseño debiera iniciarse en etapas iniciales del diseño y el AMEF de Proceso antes de que el herramental o equipo de manufactura es desarrollado y comprado. El AMEF evoluciona a lo largo de cada etapa del proceso de desarrollo del diseño y la manufactura y puede también ser usado en la solución de problemas. (AMEF, Análisis de Modos y Efectos de Falla Potenciales, 2001)

## **2.7       Árbol de tareas**

El árbol de tareas del RCM, sirve para identificar que tareas son factibles realizar, quién debe hacerlas y con qué frecuencia realizarlas. Ayuda a decidir si una acción vale o no realizarla, esto dependerá de las características técnicas de la tarea y de la falla que se pretende prevenir o solucionar. Para fallas ocultas la tarea se justifica si reduce significativamente el riesgo de que la falla sea múltiple, si esto no es posible, debe realizarse una tarea de búsqueda de falla. De no encontrarse una tarea de búsqueda de falla que sea adecuada, la decisión es que el componente pueda ser rediseñado.

Para fallas con consecuencias ambientales o de seguridad, una tarea sólo se justifica si por sí sola disminuye el riesgo de la falla a un nivel muy bajo, o lo elimina. Si no puede encontrarse una tarea que reduzca el riesgo a niveles aceptablemente bajos, entonces el componente debe ser rediseñado o debe modificarse el proceso. Si la falla tiene consecuencias operacionales, una tarea se justifica si el costo total de realizarla a lo largo de un determinado tiempo es menor al costo de las consecuencias operacionales y el costo de la reparación en el mismo tiempo, es decir, la tarea debe tener justificación económica. Si no se puede justificar, la decisión es ningún mantenimiento, si esto ocurre y las consecuencias operacionales siguen siendo inaceptables, entonces la decisión es el rediseño. Si una falla tiene consecuencias no operacionales, solo se justifica una tarea si el costo de la tarea a lo largo de un determinado tiempo es menor que el costo de reparación en el mismo tiempo. Es decir estas tareas también deben tener justificación económica. Si no se puede justificar, la decisión es otra vez ningún

mantenimiento, y si los costos son demasiado elevados entonces la siguiente decisión es el rediseño. (MOUBRAY, 1996)

Se adjunta en el anexo G el árbol de tareas, para facilitar la comprensión de lo citado anteriormente. Este diagrama de decisión ayuda a registrar: qué rutina de mantenimiento se va a realizar, con qué frecuencia y quién la va a llevar a cabo, qué fallas son lo suficientemente serias como para garantizar el rediseño, casos dónde se llevó a cabo una decisión deliberada para permitir que ocurran las fallas. (SAE-JA1011, 1999)

Antes de escoger una tarea se deben tener en cuenta los siguientes factores que debe cumplir dicha tarea:

- Que sea factible y valga la pena realizarla
- Que cumpla con la relación coste-beneficio
- Cumpla la relación en fallo y antigüedad
- Se seleccione una política de gestión de fallo cuando no sea posible aplicar tareas preventivas

Es decir que el árbol de decisión tenga en cuenta la gestión de las consecuencias de los fallos, a través de la jerarquización de las consecuencias y una política que ayude a reducirlas según a las siguientes posibilidades:

- Fallo evidente con consecuencias para la seguridad o medio ambiente
- Fallo oculto con consecuencias para la seguridad o medio ambiente
- Fallo evidente con consecuencias económicas
- Fallo oculto con consecuencias económicas

En este caso la propuesta de que da la norma SAE JA 1012 es utilizar una tarea basada en la condición, si no fuera factible o económicamente viable se propone una tarea preventiva, si tampoco fuera posible entonces se propone una tarea para detectar el fallo oculto, si tampoco fuera posible entonces se propone no realizar mantenimiento, pero se recomienda un rediseño del equipo. Se tiene en cuenta la clasificación de las consecuencias, considerando que los fallos Críticos, Comprometidos o Económicos se propone comenzar con una tarea basada en la condición, si no fuera factible o

económicamente viable se propone una tarea preventiva basada en tiempo, si tampoco fuera posible entonces se propone realizar un cambio de diseño o aceptar el riesgo y no tomar ninguna medida. En los fallos clasificados como potencialmente críticos se propone comenzar con una tarea basada en la condición, si no fuera factible o económicamente viable se propone una tarea basada en tiempo, si tampoco fuera posible entonces se propone realizar una tarea de búsqueda del fallo y, si tampoco fuera posible, entonces un cambio de diseño o aceptar el riesgo y no tomar ninguna medida. (SAE-JA1011, 1999)

De tal forma el resultado del árbol de decisión puede ser:

- Tareas basadas en la condición
- Tareas basadas en el tiempo
- Tareas de búsqueda de fallos
- Combinación de tareas
- Funcionar hasta fallar
- Cambio de diseño (rediseño) (SAE-JA1011, 1999)

## **2.8 Diagnóstico basado en la condición**

Según el mantenimiento basado en la condición, existen varios métodos para determinar un diagnóstico técnico de los equipos, desarrolladas a partir del siglo XX, se basa en el análisis de variables que se presentan en los fallos potenciales y permiten determinar el estado operativo de un activo físico, su utilización se direcciona a optimizar la fiabilidad y disponibilidad de un equipo al mínimo costo. Actualmente estas técnicas se usan en todo tipo de empresas que cuentan con una gestión óptima de sus activos. Entre las ventajas y beneficios que brindan las técnicas del mantenimiento predictivo se tiene (GÓMEZ DE LEÓN, 1998).

- Se evitan prácticamente todas las paradas no planificadas por avería.
- Se alargan los intervalos productivos entre paradas para mantenimiento y se minimizan los tiempos de reparación.
- Por lo tanto, se aumenta la disponibilidad de los laboratorios.
- Se evitan las pérdidas de producto por paros en el proceso productivo.

- Se amplía la duración de servicio de los componentes, solamente se sustituyen cuando comienzan a dañarse.
- Se reducen los stocks de piezas de recambio, puesto que el aprovisionamiento de estas piezas también puede programarse.
- Se impiden penalizaciones por retrasos en las entregas.
- Se mejora la calidad del producto fabricado (mecanización, laminación).
- Se evitan averías catastróficas, aumenta la seguridad de la planta, se reducen las primas de seguros.
- En definitiva, se aumenta la fiabilidad de los laboratorios.

Entre las técnicas de mantenimiento y análisis predictivo más utilizado por la industria y aplicables a los laboratorios se tienen las siguientes:

- Termografía
- Análisis de vibraciones
- Ultrasonido activo
- Ultrasonido pasivo
- Análisis de lubricantes

**2.8.1** *Termografía.* La termografía comparada es la técnica más común y normalmente utilizada para proporcionar los mejores datos disponibles en lugar de las mediciones térmicas ideales o absolutas. La termografía se puede aplicar a condiciones cambiantes de funcionamiento de la maquinaria, la capacidad de realizar estimaciones aproximadas de emisividad y la capacidad de diferenciar las variaciones de emisividad en el equipo de maquinaria, proporciona información útil para el monitoreo de la condición y el diagnóstico de la máquina bajo circunstancias menos frecuentes que se encuentran en el campo.

El nivel de confianza de la información obtenida depende del equipo termográfico utilizado, del entrenamiento y experiencia del termógrafo y del método de detección aplicado. La termometría sin contacto que utiliza cámaras térmicas infrarrojas se utiliza cuando es esencial conocer con la mayor exactitud posible la temperatura real de un objetivo. Sin embargo, esta técnica no se utiliza normalmente para la vigilancia de la condición y el diagnóstico. La termografía comparativa se utiliza normalmente como

parte de un proceso de monitorización de condiciones cuando dicho proceso se implementa. (ISO18434-1, 2008)

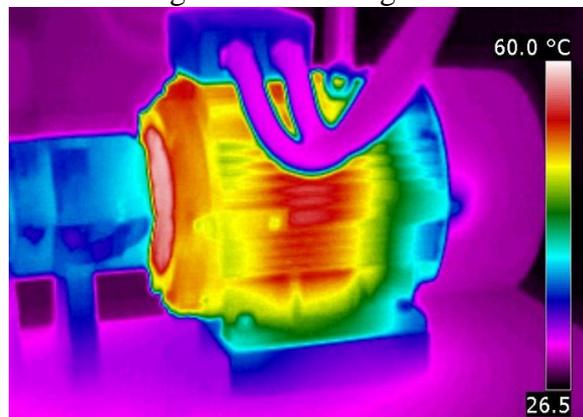
**2.8.1.1** *Método de emisividad del material de referencia.* El método del material de emisividad de referencia es el siguiente:

- Colocar la cámara en la ubicación deseada y la distancia desde el objetivo a medir.
- Enfoque la cámara en la lente.
- Medir y compensar la temperatura reflejada aparente del objetivo.
- Aplicar material modificador de superficie sobre o inmediatamente adyacente al blanco que se está midiendo.
- Asegúrese de que el material que modifica la superficie esté seco y / o en buen contacto con el blanco.
- Introducir la emisividad conocida del material modificador de la superficie en la entrada de emisividad.
- Apuntar y enfoque la cámara sobre el material que modifica la superficie, dejando suficiente tiempo para que las temperaturas se estabilicen, congelar la imagen, medir y observar la temperatura indicada.
- Apuntar y enfoque la cámara en el objetivo inmediatamente adyacente al material que modifica la superficie, o retire el material de modificación de la superficie y apunte y enfoque la cámara sobre la superficie previamente modificada. Dejar suficiente tiempo para que la temperatura se estabilice, congelar la imagen, medir y registrar la temperatura indicada.
- Usar la imagen congelada, ajustar el control de emisividad hasta que la temperatura indicada sea la misma que acaba de tomar, sin contacto de temperatura del material de modificación de la superficie. El valor de emisividad

indicado es La emisividad de esta temperatura objetivo medida con esta cámara de longitud de onda.

- Para la exactitud, repetir los procedimientos 2 al 6 un mínimo de tres veces y los valores medios de emisividad.
- Compensar la emisividad introduciendo el valor medio de emisividad en la cámara bajo la entrada emisividad (comúnmente denominada " $\epsilon$ ", "emisividad"). (ISO18434-1, 2008)

Figura 6-2. Termograma



Fuente: Técnicas modernas de medición

**2.8.2** *Análisis de vibraciones.* El análisis espectral de vibraciones consiste simplemente en realizar una transformación de una señal en el tiempo al dominio de la frecuencia, donde podemos identificar la vibración característica de cada uno de los componentes o defectos que puede presentar nuestro equipo. (ISO10816, 1995)

El análisis de vibraciones es uno de los indicativos más claros del estado de una máquina. Los bajos niveles de vibración indican que un equipo puede estar en buen estado, dependiendo de su frecuencia normal de trabajo, cuando estos niveles se elevan o disminuyen está claro que algo comienza a ir mal. Hasta ahora, se considera como medida de la amplitud de la vibración de un objeto el desplazamiento. El desplazamiento es sencillamente la distancia al objeto desde una posición de referencia o punto de equilibrio. La velocidad se define como la proporción de cambio en el desplazamiento y se mide por lo general en in/s (pulgadas por segundo) o mm/s. La aceleración se define como la proporción de cambio en la velocidad y se mide en g (la

aceleración promedio debida a la gravedad en la superficie de la tierra) o mm/s<sup>2</sup>. (GARCÍA, 2013)

## 2.9 Software SisMAC (Sistema de Mantenimiento Asistido por Computador)

SisMAC es un software eficiente diseñado para generar mejoras continuas permitiendo incrementar la producción, optimizar recursos, mejorar la utilización de mano de obra y la calidad en general y en específico controlar las actividades de mantenimiento que se deben realizar en los diversos equipos que se ingresen a este software. Éste puede administrar toda la gestión de mantenimiento de una empresa o institución y llegar a convertirse en una herramienta de trabajo irremplazable para la gerencia, jefaturas y usuarios claves de mantenimiento, ya que fue creado para ayudar a optimizar el mantenimiento en general. (C&V Ingeniería Cía.Ltda., 2016)

Figura 7-2. SisMAC en la nube



Fuente: sismac.net

Entre las diversas actividades que se pueden gestionar y controlar se tiene: inventario técnico de las instalaciones, inventario de bodega, lista de base de recambios, adquisiciones, fichas técnicas de datos, interfaz gráfica, documentación técnica, banco configurable y predefinido de tareas de mantenimiento tales como órdenes de trabajo solicitudes de trabajo planificaciones, costeos, seguimiento de órdenes de trabajo, programación y control de contadores, personal técnico, reportes, índices de mantenimiento, seguridad, etc. (C&V Ingeniería Cía.Ltda., 2016)

SisMAC usa como base de datos Access o cualquier otro tipo de base de datos que permita utilizar conectividad ODBC como son: SQL Server, Oracle, Informix, DB2,

SQL Base, entre otras y su lenguaje de programación es Visual Basic, SisMAC significa sistema de mantenimiento asistido por computador. El programa consta de varios módulos, sub módulos y utilitarios. A continuación se detallará una lista de los principales módulos del SisMAC:

- Instalaciones
- Fichas técnicas
- Lista de base de recambios (LBR)
- Mantenimiento
- Inventario de materiales y repuestos
- Compras (adquisiciones)
- Activos fijos
- Personal

Figura 8-2. Interfaz del software



Fuente: <http://sismac.net/>

## CAPÍTULO III

### 3. PLANIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO Y ESTADO TÉCNICO DE LOS EQUIPOS

Los equipos que conforman los distintos laboratorios requieren de actividades de mantenimiento que permitan la recuperación de sus funciones principales y secundarias, con la finalidad de aprovechar y potenciar la vida útil de los mismos; para beneficio del proceso de aprendizaje de los estudiantes de la Facultad.

Los planes de mantenimiento que anteceden a este proyecto carecen de un análisis de modos y efectos de fallo, esto hace que se realicen más tareas de tipo correctivas que preventivas, resultando un elevado coste de mantenimiento, pérdidas de materiales, incremento de tiempos muertos, pérdidas de prácticas para los estudiantes y retraso en la planificación académica; por estas razones se determina que dichos planes no cumplen con el objetivo de mantener a las funciones requeridas por los usuarios de los equipos. El RCM brinda una gama completa de actividades de mantenimiento de las cuales aplicamos aquella que se ajuste de mejor manera al contexto operativo de los equipos e instrumentos de los laboratorios. Estos equipos por su criticidad necesitan una determinada disponibilidad, por ello es necesario evitar las consecuencias de fallos funcionales.

#### 3.1 Lista de los equipos operativos y no operativos de los respectivos laboratorios

Para iniciar con el proceso RCM se requiere tener el listado de los equipos de cada laboratorio que se someten a dicha metodología. Los equipos existentes dentro de los laboratorios poseen una codificación determinada por el departamento de control de bienes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En las siguientes tablas se detalla cada uno de los equipos con sus respectivos códigos, estados de operatividad y su frecuencia de utilización.

Tabla 2-3. Listado de equipos del laboratorio de Térmicas

Código	Nombre del equipo	Operatividad	Utilización (veces/semestre)
--------	-------------------	--------------	------------------------------

98112	Generador de vapor de 5BHP	Operativo	2
-------	----------------------------	-----------	---

Tabla 2-3. (Continuación). Listado de equipos del laboratorio de Térmicas

39648	Termo higrómetro	Operativo	2
52084	Anemómetro, mínímetro digital	Operativo	4
4889	Intercambiador de doble tubo	Operativo	4
4887	Bco. Pr. intercambiador de calor	Operativo	4
52150	Medidor de luz con estuche	Operativo	4
98111	Chiller	No operativo	0
93593	Intercambiador de calor tubo	Operativo	4
4890	Intercambiador de placas	Operativo	4
85210	Calentador solar de panel	No operativo	0
93504	Calimómetro	Operativo	4
46343	Bco. termodinámico constante R	No operativo	0

Fuente: Autor

Tabla 3-3. Listado de equipos del Laboratorio de Resistencia de Materiales

<b>Código</b>	<b>Nombre del equipo</b>	<b>Operatividad</b>	<b>Utilización (veces/semestre)</b>
13684	Banco de prueba de fatiga	Operativo	4
54268	Base magnética estándar	Operativo	4
13585	Bloque de compresión	Operativo	4
13595	Bloque de prueba 300BHN	Operativo	4
13669	Multímetro con 2 cables	Operativo	4
13613	Pedestal	Operativo	4
5101	Medidor de torque DP-41-5	Operativo	4
54255	Reloj comparador	Operativo	4
59467	Reloj comparador	Operativo	4
13580	Máquina de prueba de torsión	Operativo	4
13598	Deflexómetro de dos campos	Operativo	4
13579	Extensómetro ajustable	Operativo	4
13688	Servo motor	Operativo	4
13601	Punzón céntrico	Operativo	4
16630	Péndulo Charpy	Operativo	4
87221	Chasis de 4 entradas	Operativo	4
13683	Centralino extensiómetro	Operativo	4
13599	Extensómetro	Operativo	4
13609	Comparador de carátula	Operativo	4
13581	Máquina universal	Operativo	4
54269	Reloj comparador digital	Operativo	4
54253	Reloj comparador digital 2	Operativo	4
13681	Péndulo charpy capacidad	Operativo	4

Tabla 3-3. (Continuación) Listado de equipos del Laboratorio de Resistencia de Materiales

13612	Pedestal de soporte de medición	Operativo	4
13596	Bloque de pruebas	Operativo	4
13594	Bloque de prueba 400 BHN	Operativo	4
13593	Batería operadora	Operativo	4
13709	Bco. exp ensayos de flexión	Operativo	4

Fuente: Autor

Tabla 4-3. Listado de equipo del Laboratorio de Materiales

<b>Código</b>	<b>Nombre del equipo</b>	<b>Operatividad</b>	<b>Utilización (veces/semestre)</b>
1891	Proyector de video	Operativo	4
8359	Bloque calibrador de gradilla	Operativo	4
14022	Cámara para microscopio	Operativo	4
14117	Pulidor eléctrico semiautomático	Operativo	4
14133	Micro durómetro	Operativo	4
49777	Cámara digital 7.2Mp	Operativo	4
80644	Pulidor de muestras metalográficas	Operativo	4
80647	Medidor de espesores ultrasónico	Operativo	4
80649	Equipo ultrasónico	Operativo	4
7454	Compresor de aire de 2Hp	Operativo	4
14111	Pre pulidora manual	Operativo	4
14104	Microscopio 2 oculares	Operativo	4
108617	Espectrómetro	Operativo	4
80648	Microscopio metalográfico	Operativo	4
80646	Montador de probetas	Operativo	4
80643	Durómetro	Operativo	4
14159	Medidor de dureza manual	Operativo	4
14118	Máquina para cortes	Operativo	4
14116	Próntopes	Operativo	4
8360	Bloque de calibración	Operativo	4
8358	Equipo ultrasónico con	Operativo	2

Fuente: Autor

La operatividad de los equipos descrita en las tablas 2, 3 y 4 fue determinada por medio de un conversatorio con los responsables de cada laboratorio, y la utilización se basa en la planificación de las distintas materias que hacen uso de los equipos de cada laboratorio en las diversas prácticas estipuladas por los docentes a cargo de las diferentes cátedras como: Ingeniería de Materiales I y II, Sólidos y laboratorio I y II,

Transferencia de calor y laboratorio, Sistemas térmicos y laboratorio, y Termodinámica. Con estos datos se genera la información necesaria para iniciar con el RCM.

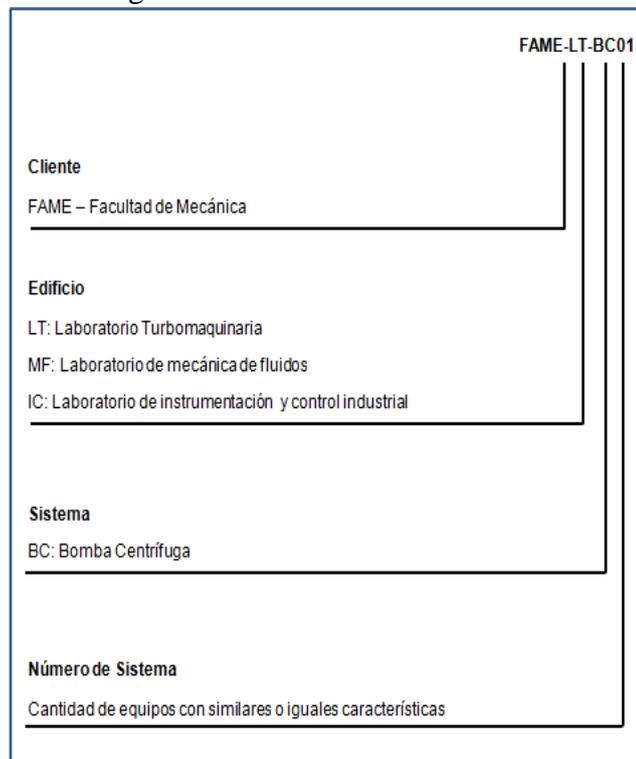
### 3.2 Codificación de los equipos

Para generar el código que lleva cada uno de los equipos, se tomó en cuenta la Facultad a la que pertenece, el laboratorio, la familia, el sistema y el número de sistemas. Para este caso los laboratorios son: Materiales, Térmicas y Resistencia de Materiales, el nombre del equipo en sí mismo y la cantidad de estos que se encuentren en existencia. Esta codificación facilita la comprensión y ubicación de cada activo dentro de los diferentes laboratorios.

- Método de codificación.

A continuación se detalla el método de generación de los distintos códigos:

Figura 9-3. Sistema de codificación



Fuente: Plan de mantenimiento Turbo maquinaria

Facultad:

- FAME= Facultad de Mecánica

Área:

- TE,TC= Laboratorio de Térmicas
- RM= Laboratorio de Resistencia de Materiales
- LM= Laboratorio de Materiales

Equipo:

- GV= Generador de vapor

Número de equipo:

- Depende del número en existencias disponibles.

**3.2.1** *Listado y codificación de los equipos del Laboratorio de Térmicas.* Los códigos para el laboratorio de Térmicas inicia con FAME que corresponde a Facultad de Mecánica, TE para el laboratorio de Térmicas, para el caso del Generador de Vapor se utiliza GV, y el 01 representa que dentro del laboratorio solo existe un Generador de Vapor.

Tabla 5-3. Codificación del Laboratorio de Térmicas

<b>Código</b>	<b>Nombre del equipo</b>
FAME-TE-GV01	Generador de vapor de 5BHP
FAME-TC-TH01	Termo higrómetro
FAME-TC-AD01	Anemómetro, mínímetro digital
FAME-TC-ID01	Intercambiador de calor de doble tubo
FAME-TC-IC01	Banco de pruebas de intercambiador de calor
FAME-TE-ML01	Medidor de luz con estuche
FAME-TE-CH01	Chiller
FAME-TC-TC01	Intercambiador de calor tubo y coraza
FAME-TC-IP01	Intercambiador de placas
FAME-TC-CS01	Calentador solar de panel
FAME-TC-CM01	Calimómetro
FAME-TC-CR01	Banco termodinámico determinación constante R

Fuente: Autor

**3.2.2** *Listado y codificación de los equipos del laboratorio de Resistencia de Materiales.* Los equipos dentro del laboratorio de Resistencia de Materiales son los que requieran de un mayor mantenimiento debido a la complejidad de su funcionamiento y

estructura de cada una de sus piezas, como ejemplo se tiene a la Máquina Universal. Para los equipos de este laboratorio varía a partir de las letras RM que significa Resistencia de Materiales, para el caso del Banco de pruebas de fatiga se usa las siglas BF y el 01 representa que hay solo un banco en existencia y disponible.

Tabla 6-3. Codificación del Laboratorio de Resistencia de Materiales

<b>Código</b>	<b>Nombre del equipo</b>
FAME-RM-BF01	Banco de prueba de fatiga
FAME-RM-BM01	Base magnética estándar
FAME-RM-BC01	Bloque de compresión interior esféricamente asentada
FAME-RM-BH02	Bloque de prueba 300BHN
FAME-RM-MM01	Multímetro con 2 cables
FAME-RM-SM02	Pedestal
FAME-RM-MT01	Medidor de torque DP-41-5
FAME-RM-RC02	Reloj comparador
FAME-RM-RC04	Reloj comparador
FAME-RM-PT01	Máquina de prueba de torsión
FAME-RM-DF01	Deflexómetro de dos campos
FAME-RM-ET01	Extensómetro ajustable
FAME-RM-SS01	Servo motor
FAME-RM-PZ01	Punzón céntrico de medida de longitud
FAME-RM-PC02	Péndulo Charpy
FAME-RM-CH01	Chasis de 4 entradas
FAME-RM-CE01	Centralino extensiómetro
FAME-RM-EX02	Extensómetro
FAME-RM-CC01	Comparador de carátula
FAME-RM-MU01	Máquina universal
FAME-RM-RC03	Reloj comparador digital
FAME-RM-RC01	Reloj comparador digital 2
FAME-RM-PC01	Péndulo Charpy capacidad 335,2 J
FAME-RM-SM01	Pedestal de soporte de medición fija en caja de madera
FAME-RM-BH03	Bloque de pruebas
FAME-RM-BH01	Bloque de prueba 400 BHN
FAME-RM-BE01	Batería operadora por microscopio en estuche
FAME-RM-EF01	Banco experimental para ensayos de flexión

Fuente: Autor

**3.2.3** *Listado y codificación de los equipos del laboratorio de Materiales.* Así como en el anterior laboratorio de Materiales, los equipos de Resistencia de Materiales

presentan cierta complejidad en su estructura, los microscopios y durómetros son susceptibles a fallos por tal motivo las tareas de mantenimiento deben ser más específicas. En cuanto a la codificación LM representa Laboratorio de Materiales, para el caso del primer equipo PY significa Proyector de video y el 01 es la existencia disponible de este equipo en el laboratorio.

Tabla 7-3. Codificación del laboratorio de Materiales

<b>Código</b>	<b>Nombre del equipo</b>
FAME-LM-PY01	Proyector de video
FAME-LM-BC01	Bloque calibrador de gradilla
FAME-LM-CM01	Cámara para microscopio
FAME-LM-PS01	Pulidor eléctrico semiautomático
FAME-LM-MD01	Micro durómetro
FAME-LM-CD01	Cámara digital 7.2Mp
FAME-LM-PM01	Pulidor de muestras metalográficas
FAME-LM-ME01	Medidor de espesores ultrasónico
FAME-LM-DF01	Equipo ultrasónico para detección de fallas
FAME-LM-CP01	Compresor de aire de 2Hp
FAME-LM-PP01	Pre pulidora manual
FAME-LM-SW01	Microscopio 2 oculares
FAME-LM-EE01	Espectrómetro de emisión óptica
FAME-LM-MI01	Microscopio metalográfico invertido
FAME-LM-MT01	Montador de probetas de termo compresión
FAME-LM-DR01	Durómetro
FAME-LM-MM01	Medidor de dureza manual
FAME-LM-MC01	Máquina para cortes
FAME-LM-PT01	Próntopes
FAME-LM-BC02	Bloque de calibración en estuche
FAME-LM-EU01	Equipo ultrasónico con 6 palpadores

Fuente: Autor

Todos estos códigos generados son distintos de los códigos otorgados por la Unidad de control de bienes y de uso exclusivo de los respectivos laboratorios. Con la codificación lista se procede a integrar las fichas técnicas de los equipos. La integración de las mismas se presenta a continuación.

### 3.3 Fichas técnicas

Para facilitar la agrupación de las diversas características que poseen los equipos de cada laboratorio y para el caso de este estudio, se elabora una ficha técnica, para este proyecto se consideran las siguientes características como las más importantes:

- Modelo
- Nombre
- Marca
- Fotografía
- Departamento al que pertenece
- Capacidad
- Código
- Dimensiones
- Nivel de criticidad
- Voltaje de suministro
- Prioridad
- Contexto operacional
- Personal a cargo, etc.

De los detalles enlistados se seleccionan los siguientes: nombre, código, fotografía. Hay que tomar en cuenta que conjugar la ficha técnica con la información del AMEF facilitó la ilustración de las características de los equipos y las diversas tareas a aplicar, sin embargo la determinación de dichas tareas se lo realiza en los pasos siguientes. Dando como resultado el siguiente modelo de ficha técnica.

Tabla 8-3. Ficha técnica

 Departamento: Facultad de Mecánica Sección: FM-(LE 11) Lab. Térmicas		Análisis de criticidad		
	Nombre:	Generador de vapor	SS=	A
	Cód. UCB:	98112	MA=	
	Cód. SISMAC:	FAME-TE-GV01	NS=	
	Criticidad:	C	FU=	B
	Volt. Alimentación:	110 V	TBF=	
	Prioridad:	Alta	MT=	
			crit	C
		TBF=		
		MT=		
C= Crítico		SC= Semicrítico	NC= No Crítico	

Fuente: Autor

Las fichas técnicas de cada equipo de los diversos laboratorios se encuentran adjuntas en los respectivos anexos.

### 3.4 Ficha de estado técnico

Las fichas de estado técnico muestran en detalle la etapa en la cual se encuentran los activos de cada laboratorio por medio de un análisis de las partes, elementos, sistemas, subsistemas que estos pueden contener. Para determinar el estado técnico de los equipos de cada laboratorio se aplican dos técnicas de evaluación una mediante equipos de análisis de la condición (termografía y vibraciones) y la otra mediante pruebas de funcionamiento. Para seleccionar el método de evaluación del estado técnico el proyecto se basa en un conjunto de normativas presentadas a continuación:

- Para el uso de termografía se usa la norma ISO 18434 titulada “Monitoreo de estado y diagnóstico de las máquinas-termografía”. Y la norma NETA MTS: 2007 titulada “ESPECIFICACIONES DE ENSAYOS DE MANTENIMIENTO para equipos y sistemas de energía eléctrica”. Dentro de esta norma se toma en cuenta una tabla importante que ayuda a determinar las acciones de mantenimiento a realizarse para el AMEF de los equipos, dicha tabla dice lo siguiente:

Tabla 9-3. Acciones sugeridas por la norma

<b><math>\Delta T</math> entre componentes similares bajo cargas similares</b>	<b><math>\Delta T</math> entre el componente y la temperatura ambiente</b>	<b>Acción recomendada</b>
1°C – 3°C	1°C – 10°C	Posible deficiencia. Ordene investigación
4°C – 15°C	11°C – 20°C	Probable deficiencia. Reparar en la primera oportunidad
-----	21°C – 40°C	Monitorear hasta realizar las medidas correctivas
>15°C	>40°C	Discrepancia mayor. Reparar inmediatamente

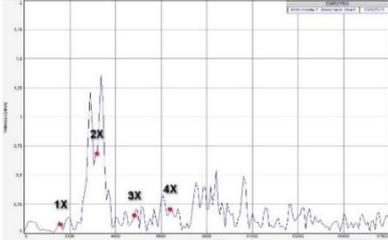
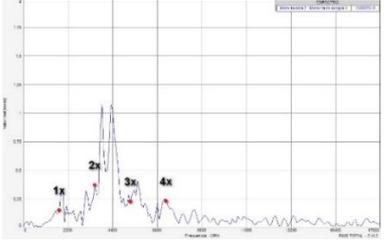
Fuente: NETA MTS: 2007

- Para el uso del análisis de vibraciones se usa la norma ISO 10816 titulada “Vibración mecánica - Evaluación de la vibración de la máquina por mediciones en piezas giratorias”. Dicha tabla de severidad la encontramos en el Anexo J.

Este tipo de mantenimiento a realizarse se debe tener en cuenta al momento de asignar las diversas tareas según corresponda por la aplicación del RCM, a fin de optimizar los distintos recursos destinados a la implementación de este método en cada laboratorio de la facultad; la inspección, revisión o reparación que se vaya a realizar se debe

correlacionar con las diversas tareas según el RCM. En la tabla 11 se presenta un modelo para este proyecto y contiene: el nombre del equipo, el laboratorio al que pertenece, la documentación técnica con la que cuenta, la codificación del SisMAC, además una conclusión y recomendación, que ayuden a mitigar cualquier posible falla presente. La hoja de evaluación del estado técnico está diseñada de tal manera que sea lo más comprensible posible, el espacio en blanco se puede colocar una imagen del equipo analizado, o a su vez algún tipo de técnica predictiva o análisis de la condición aplicado al respectivo equipo, dicha hoja de estado técnico se muestra a continuación :

Tabla 10-3. Hoja de estado técnico del generador de vapor

		Hoja de estado técnico generador de vapor			
Código SisMAC		FAME-TE-GV01			
Documentación					
Manuales		Planos		Repuestos	
Si:	No: X	Si:	No: X	Si:	No: X
Descripción					
Detalle		Excelente	Bueno	Regular	Malo
Cuerpo del caldero, tubos (e) y (s) de agua		X			
Presuretrol, Mac Donald, quemador		X			
Electrodo, fotocelda, aislamiento		X			
Bomba de agua y tuberías de conexión				X	
		RMS Total= 3,019 mm/s			
*lado libre horizontal					
		RMS Total= 2,412 mm/s			
*lado acoplado vertical					
Falla potencial: Desalineación de los rodamientos					
Conclusión: Posee un estado técnico regular según norma ISO 10816 sección 1					
Mantenimiento requerido: Según el espectro medido se recomienda la revisión o cambio de los rodamientos.					

Fuente: Autor

Según las técnicas de análisis basado en la condición que se utilizaron para determinar el estado técnico operacional de cada uno de los equipos de los laboratorios de la Facultad. Demostró que estos se encuentran en un estado operativo que varía entre regular y bueno; además en cada una de las tablas se presenta un mantenimiento requerido y una conclusión.

La continuación de las fichas de estado técnico de los equipos está adjuntas en los anexos D, E y F respectivamente. Los equipos que se les asigne una técnica basada en la condición para determinar su estado técnico se estipulan en la siguiente tabla.

Tabla 11-3. Técnica utilizada para determinar el estado técnico de los equipos del laboratorio de Térmicas

Nombre del equipo	Técnica utilizada		
	Vibraciones	Termografía	Prueba de funcionamiento
Generador de vapor de 50 PSI	X	X	
Termohigrómetro		X	
Anemómetro, mínímetro digital			X
Intercambiador de doble tubo		X	
Bco. Pr. intercambiador de calor		X	
Medidor de luz con estuche			X
Chiller			X
Intercambiador de calor tubo		X	
Intercambiador de placas		X	
Calentador solar de panel			X
Calimómetro		X	
Bco. termodinámico constante R		X	

Fuente: Autor

Tabla 12-3. Técnica utilizada para determinar el estado técnico de los equipos del laboratorio de Resistencia de materiales

Nombre del equipo	Técnica utilizada		
	Vibraciones	Termografía	Prueba de funcionamiento
Banco de prueba de fatiga			X
Base magnética estándar			X
Bloque de compresión interior			X
Bloque de prueba 300BHN			X
Multímetro con 2 cables			X

Tabla 13-3. (Continuación) Técnica utilizada para determinar el estado técnico de los equipos del laboratorio de Resistencia de materiales

Pedestal			X
Medidor de torque DP-41-5			X
Reloj comparador			X
Reloj comparador			X
Máquina de prueba de torsión			X
Deflexómetro de dos campos			X
Extensómetro ajustable			X
Servo motor			X
Punzón céntrico de medida de longitud			X
Péndulo Charpy			X
Chasis de 4 entradas			X
Centralino extensiómetro			X
Extensómetro			X
Comparador de carátula			X
Máquina universal			X
Reloj comparador digital			X
Reloj comparador digital 2			X
Péndulo Charpy			X
Pedestal de soporte de medición fija			X
Bloque de pruebas			X
Bloque de prueba 400 BHN			X
Batería operadora con estuche			X
Banco exp. para ensayos de flexión			X

Fuente: Autor

Tabla 14-3. Técnica utilizada para determinar el estado técnico de los equipos del laboratorio de Materiales

<b>Equipos del laboratorio de Materiales</b>			
<b>Nombre del equipo</b>	<b>Técnica utilizada</b>		
	<b>Vibraciones</b>	<b>Termografía</b>	<b>P. f.</b>
Proyector de video			X
Bloque calibrador de gradilla			X
Cámara para microscopio			X
Pulidor eléctrico semiautomático		X	
Micro durómetro			X
Cámara digital			X
Pulidor de muestras metalográficas		X	
Medidor de espesores ultrasónico			X

Tabla 15-3. (Continuación) Técnica utilizada para determinar el estado técnico de los equipos del laboratorio de Materiales

Equipo ultrasónico para detección de fallas			X
Compresor de aire		X	
Pre pulidora manual			X
Microscopio 2 oculares			X
Espectrómetro de emisión óptica			X
Microscopio metalográfico invertido			X
Montador de probetas de termo compresión			X
Durómetro			X
Medidor de dureza manual			X
Máquina para cortes			X
Próntopes			X
Bloque de calibración en estuche			X
Equipo ultrasónico con 6 palpadores			X

Fuente: Autor

Donde:

P. f.= Prueba de funcionamiento

Como se identifica en las tablas 11, 12 y 13 cada uno de los equipos es analizado con una de las tres técnicas de análisis de la condición que están disponibles. Para cada uno de los métodos se deben seguir los siguientes pasos:

- **Prueba de funcionamiento.** Para este método de análisis se comprueban los siguientes aspectos: Encendido (cumplimiento de la función principal); cumplimiento de las funciones secundarias, estado de carcasa, presencia de corrosión, presencia de fracturas, desgaste de material, falta de lubricación, fallas de aislamiento eléctrico, aislamiento térmico; estado de rodamientos, partes fijas, partes móviles, etc.
- **Termografía.** Para poder tomar una termografía y su posterior análisis se deben llevar a cabo una los siguientes pasos: a) Enfocar el objeto, equipo o elemento que se desee analizar; b) La distancia máxima de separación entre el lente de la cámara y el objeto o equipo a analizar debe ser de 1 metro; c) La posición más adecuada para tomar la termografía debe ser perpendicular, formando un ángulo de 90° entre la cámara y el objeto; d) Capturar la termografía presionando el botón

de disparo; e) En el caso de poseer el software de edición de termo gramas, conectar la cámara al ordenador e importar las imágenes para observar, editar y analizar los datos, luego con la tabla de acciones sugeridas por la norma NETA MTS: 2007 podremos tomar una acción de acuerdo a la temperatura del equipo.

Tendremos un estado bueno cuando la diferencia de temperaturas ( $\Delta T$ ) entre componentes similares bajo cargas similares no sea más de dos grados centígrados.

Tendremos un estado regular cuando la diferencia de temperaturas ( $\Delta T$ ) entre componentes similares bajo cargas similares no sea más de quince grados centígrados.

Tendremos un estado malo cuando la diferencia de temperaturas ( $\Delta T$ ) entre componentes similares bajo cargas similares sea mayor a quince grados centígrados.

- **Vibraciones.** Para aplicar este método de análisis basado en la condición se debe:
  - a) Dependiendo del tipo de equipo de análisis, estos pueden contar con uno o más transductores, los cuales nos permitirán recibir las señales de vibración que emiten los equipos en funcionamiento. Los transductores son elementos magnéticos, que se acoplaran a puntos específicos del equipo, en el caso de motores, bombas o equipos similares se coloca en dirección de los rodamiento o piezas móviles; b) Conectar el o los transductores al equipo en los puntos necesarios y obligatorios (lado libre, lado acoplado); c) Iniciar con el análisis y almacenamiento de datos por medio del equipo al ordenador; d) Finalización del funcionamiento de los equipos que se estén analizando y del equipo de análisis de vibraciones (VibraCheck); e) Análisis de datos obtenidos, por último podremos expresar un resultado basándonos en la norma ISO 10816 sección 1 que es la norma que se aplica a maquinas con potencia menor a 15 KW.

El estado bueno, malo o regular lo tendremos basándonos en la tabla de severidad de vibración ISO 10816 para evaluación del estado técnico que se encuentra en el anexo J.

### 3.5 Análisis de criticidad

A continuación se denota según la matriz y flujo grama descritos en el Capítulo II, en

las páginas 12, 13 y 14 el nivel de criticidad que posee cada equipo de los distintitos laboratorios de la facultad. Realizar este tipo de análisis ayuda a comprender desde que elemento hasta que sistema de cada equipo es el más crítico o menos crítico de los cuales pueden solo clasificarse en tres grupos según la evaluación y son: crítico, semicrítico y no crítico. Hay que tener en cuenta que si un equipo o elemento es dañino a la seguridad, salud humana o al medio ambiente éste es directamente señalado como crítico debido a su incidencia directa a la integridad física de las personas y el planeta ya sea a su flora o fauna. Es decir con esos elementos o equipos se debe tener especial cuidado y precaución al momento de su utilización o mantenimiento.

Caso contrario sucede con los equipos o elementos que carezcan de este nivel de criticidad, cuando son menos críticos, a estos se les debe dar una menor frecuencia de mantenimiento y no necesitan mayor precaución al momento de su utilización, sin embargo no dejan de ser importantes. Para determinar una cualificación de criticidad para algún equipo existen seis parámetros que se califican, conocidos como áreas de impacto, estas son: seguridad y salud, medio ambiente, nivel de susceptibilidad al daño, frecuencia de utilización, tiempo medio entre fallos y tiempo y costo de mantenimiento; estas áreas pueden obtener la calificación A, B o C, entendiendo su equivalente como riesgo alto, riesgos medio y riesgos bajo respectivamente. Para obtener las evaluaciones presentadas se calificó de la siguiente manera:

- **Crítico.** Cuando las máquinas o equipos representan una amenaza para la seguridad y salud del docente o estudiantes, medio ambiente y según el nivel de susceptibilidad poseen un riesgo alto; de ser este el caso entonces el equipo es crítico.
- **Semicrítico.** Los equipos de los diferentes laboratorios pueden alcanzar este nivel cuando la seguridad, medio ambiente y nivel de susceptibilidad poseen un riesgo medio o un riesgo bajo, posteriormente la frecuencia de utilización, el tiempo medio entre fallos y el tiempo y costo de mantenimiento deben tener un riesgo medio.
- **No crítico.** Cuando la frecuencia de utilización, el tiempo medio entre fallos y el tiempo y costo de mantenimiento presentan un riesgo bajo entonces el equipo alcanza el nivel no crítico.

Tabla 16-3. Criticidad de los equipos del laboratorio de Térmicas

<b>Nombre del equipo</b>	<b>Evaluación de criticidad</b>
Generador de vapor de 5BHP	Crítico
Termohigrómetro	Semicrítico
Anemómetro, mínímetro digital	Semicrítico
Intercambiador de doble tubo	Crítico
Bco. Pr. intercambiador de calor	Crítico
Medidor de luz con estuche	Semicrítico
Chiller	Semicrítico
Intercambiador de calor tubo	Crítico
Intercambiador de placas	Crítico
Calentador solar de panel	Crítico
Calimómetro	Crítico
Bco. termodinámico constante R	Semicrítico

Fuente: Autor

Tabla 17-3. Criticidad de los equipos del laboratorio de Resistencia de materiales

<b>Nombre del equipo</b>	<b>Evaluación de criticidad</b>
Banco de prueba de fatiga	Semicrítico
Base magnética estándar	Semicrítico
Bloque de compresión interior	Semicrítico
Bloque de prueba 300BHN	Semicrítico
Multímetro con 2 cables	Semicrítico
Pedestal	Semicrítico
Medidor de torque DP-41-5	Semicrítico
Reloj comparador	Semicrítico
Reloj comparador	Semicrítico
Máquina de prueba de torsión	Semicrítico
Deflexómetro de dos campos	Semicrítico
Extensómetro ajustable	Semicrítico
Servo motor	Semicrítico
Punzón céntrico de medida de longitud	Semicrítico
Péndulo Charpy	Semicrítico
Chasis de 4 entradas	Semicrítico
Centralino extensómetro	Semicrítico
Extensómetro	Semicrítico
Comparador de carátula	Semicrítico
Máquina universal	Semicrítico
Reloj comparador digital	Semicrítico
Reloj comparador digital 2	Semicrítico

Tabla 18-3. Criticidad de los equipos del laboratorio de Materiales

Péndulo Charpy	Semicrítico
Pedestal de soporte de medición fija	Semicrítico
Bloque de pruebas	Semicrítico
Bloque de prueba 400 BHN	Semicrítico
Batería operadora por microscopio en estuche	Semicrítico
Banco experimental para ensayos de flexión	Semicrítico

Fuente: Autor

Tabla 19-3. Criticidad de los equipos del laboratorio de Materiales

<b>Nombre del equipo</b>	<b>Evaluación de criticidad</b>
Proyector de video	Crítico
Bloque calibrador de gradilla	Semicrítico
Cámara para microscopio	Semicrítico
Pulidor eléctrico semiautomático	Semicrítico
Micro durómetro	Semicrítico
Cámara digital	Semicrítico
Pulidor de muestras metalográficas	Semicrítico
Medidor de espesores ultrasónico	Semicrítico
Equipo ultrasónico para detección de fallas	Semicrítico
Compresor de aire	Semicrítico
Pre pulidora manual	Semicrítico
Microscopio 2 oculares	Semicrítico
Espectrómetro de emisión óptica	Semicrítico
Microscopio metalográfico invertido	Semicrítico

Tabla 17-3. (Continuación). Criticidad de los equipos del laboratorio de Materiales

Montador de probetas de termo compresión	Semicrítico
Durómetro	Semicrítico
Medidor de dureza manual	Semicrítico
Máquina para cortes	Semicrítico
Próntopes	Semicrítico
Bloque de calibración en estuche	Semicrítico
Equipo ultrasónico con 6 palpadores	Semicrítico

Fuente: Autor

### 3.6 AMEF

Con el AMEF o análisis de modo y efecto de falla se identificó los posibles fallos potenciales, funcionales y sus respectivos efectos de falla en los equipos o elementos de cada laboratorio de la Facultad de Mecánica y con la ayuda del árbol de tareas se

determinan las respectivas acciones a realizarse para mitigar los anteriormente mencionados fallos potenciales y funcionales. Todos los datos e información necesaria para la matriz se recabaron conjuntamente con el responsable o técnico de mantenimiento de los equipos de cada laboratorio de la Facultad y para facilitar la comprensión de esta matriz se han añadido las siguientes especificaciones: la codificación perteneciente al SisMAC, la codificación otorgada por la unidad de control de bienes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. El análisis de criticidad determinado en las tablas 12, 13 y 14, el nombre del equipo, el laboratorio y la facultad a la cual que pertenecen, la función primaria, la o las funciones secundarias, la falla funcional, los modos de falla, los efectos de falla, la consecuencia de falla, las tareas de mantenimiento y la frecuencia a que éstas se deben realizar, además de una fotografía del equipo. Para proceder con la realización del AMEF de los equipos de cada laboratorio fue necesario conocer los detalles técnicos de los equipos e instrumentos y seguir los siguientes pasos:

- Para llenar los primeros dos casilleros se debe conocer la función primaria y funciones secundarias de los equipos de estudio de cada uno de los laboratorios de la facultad, por ejemplo la función principal de una bomba es bombear fluido de un punto a otro, una función secundaria es proporcionar presión a un fluido y darle velocidad al fluido.
- Después se procedió a anotar la falla funcional, la cual es la incapacidad que pueden presentar los equipos para cumplir con sus respectivas funciones primarias o a su vez alguna secundaria en complemento. Posteriormente se colocó los modos de falla, éstas son las posibles causas o maneras que pueden llevar a un equipo al fallo o a su falla funcional, éstos pueden ser: atascamientos, desgastes, fugas, roturas, solturas, desacoples, corrosión, cortocircuitos, sobrecargas, etc.
- A continuación se escribieron los efectos de falla estos van en función de los modos de falla descritos en el punto anterior, cada uno está correlacionado. Si se tiene en los modos de fallos un atascamiento de impulsor su respectivo efecto de fallo es no poder bombear un fluido de un lugar a otro.

- En el siguiente punto se describió el tipo de consecuencia de falla, estas pueden ser: ambiental o de seguridad y salud cuando afecta a los seres humanos, animales, fauna o flora; ocultas, no son evidentes a simple vista, sin embargo estas pueden producir consecuencias catastróficas; operacionales, cuando se producen paradas en la producción; no operacionales, cuando no afecta a la producción según corresponda a cada equipo.
- Después se determinó una tarea en función al modo de falla, el efecto que produce y la consecuencia que acarrea, esta tarea es preferentemente preventiva, y en caso de ser necesaria es correctiva, su objetivo es evitar el fallo funcional del activo.
- Para finalizar en la matriz se determinó y anotó la frecuencia con la cual se van a realizar la tareas de mantenimiento, ya sean preventivas o correctivas, que se definieron en el punto anterior.
- Esta frecuencia se determinó en días, semanas, meses, años, revoluciones por minuto, kilómetros, espesor de desgaste, nivel de corrosión o según le convenga al usuario

Tabla 20-3. AMEF

 Departamento: Facultad de Mecánica			Análisis de criticidad	
Sección: FM-(LE 11) Lab. Térmicas			SS=	A
	Nombre:	Generador de vapor	MA=	
	Cód. UCB:	98112	NS=	
	Cód. SisMAC:	FAME-TE-GV01	FU=	B
	Criticidad:	C	TBF=	
	Volt. Alimentación:	110 V	MT=	
	Prioridad:	Alta	crit:	C
			TBF=	
			MT=	
C= Crítico		SC= Semicrítico	NC= No Crítico	
Planilla informativa				
<b>Funciones primarias:</b> Generar vapor a una capacidad de 50 PSI				
<b>Funciones secundarias:</b> entregar vapor a los distintos elementos del laboratorio				
<b>Falla funcional:</b> Incapaz de generar vapor a una capacidad de 50 PSI				
<b>Modos de falla:</b>				
1)Fotocelda de la bomba de combustible dañada 2)Impulsor de bomba de agua atascada 3)Boya del Mc Donald atascado con impurezas 4)Electrodo de ignición desgastado				
<b>Efectos de falla:</b>				
1)No enciende la bomba de combustible 2)No se suministra agua al caldero 3)Mc Donald no envía la señal para encendido o apagado de la bomba de agua 4)No se produce la chispa para el encendido del combustible				
<b>Consecuencia de falla:</b>				
Operacional				
<b>Tareas:</b>				
1)Verificación del funcionamiento de la fotocelda con un multímetro, de ser necesario cambiar 2)Verificación del giro del impulsor por medio del giro del ventilador del motor 3)Inspección limpieza del interior del Mc Donald 4)Inspección del estado de la electro válvula, cambiarlo de ser necesario 5)Lavado químico al caldero				
<b>Frecuencia:</b>				
1)Cada 12 semanas 2)Cada 8 semanas 3)Cada 8 semanas 4)Cada 12 semanas 5)Cada 26 semanas				

Fuente: Autor

La continuación de tablas AMEF de todos los equipos se encuentran en los respectivos anexos.

Tabla 21-3. Check list

<b>ESPOCH-FACULTAD DE MECÁNICA</b>			
<b>Check list:</b>		Laboratorio:	
<b>Código de equipo:</b>			
<b>Fecha:</b>			
N°	<b>Actividades de inspección antes de encender los equipos</b>	<b>Realizado</b>	<b>N/A</b>
<b>A</b>			
1	Revisar conexiones eléctricas		
2	Revisar conexiones hidráulicas		
3	Chequear niveles de fluidos		
4	Chequear puntos de anclaje		
5	Revisar sujeción de bandas y poleas		
6	Verificar estado de estructura		
7	Verificar que no haya atascamiento de componentes		
8	Chequear fisuras y grietas		
9	Verificar conexiones externas realizadas por estudiantes		
10	Revisar presencia de fugas en sistemas hidráulicos		
11	Inspeccionar fugas por mangueras y cañerías en general		
12	Verificar que las condiciones de seguridad sean adecuadas		
<b>B</b>	<b>Actividades de inspección durante la operación de los equipos</b>		
13	Escuchar sonidos anormales en motores		
14	Escuchar sonidos anormales de mecanismos		
15	Revisar presencia de fugas		
<b>C</b>	<b>Actividades a realizar después de la operación de los equipos</b>		
16	Despresurizar tanques		
17	Drenar fluidos acumulados		
18	Desenergizar equipos		
19	Limpiar equipo		
20	Limpiar puesto de trabajo		
21	Retirar herramientas de trabajo		
22	Almacenar correctamente dispositivos de medición		
<b>Observaciones:</b>			
<b>Responsable laboratorio:</b>			

Fuente: Autor

## CAPÍTULO IV

### 4. PROGRAMACIÓN DEL SisMAC

Para el manejo del software se realizaron varias capacitaciones para manipular e interpretar de una forma adecuada la información dentro del programa. La persona que impartió dichas capacitaciones fue el proveedor del software, el Ingeniero Sergio Villacrés.

#### 4.1 Implementación del SisMAC

Para lograr un correcto uso del software fue necesario recibir una capacitación por parte del proveedor del mismo. Entre las diferentes funciones que brinda el software se tienen las siguientes:

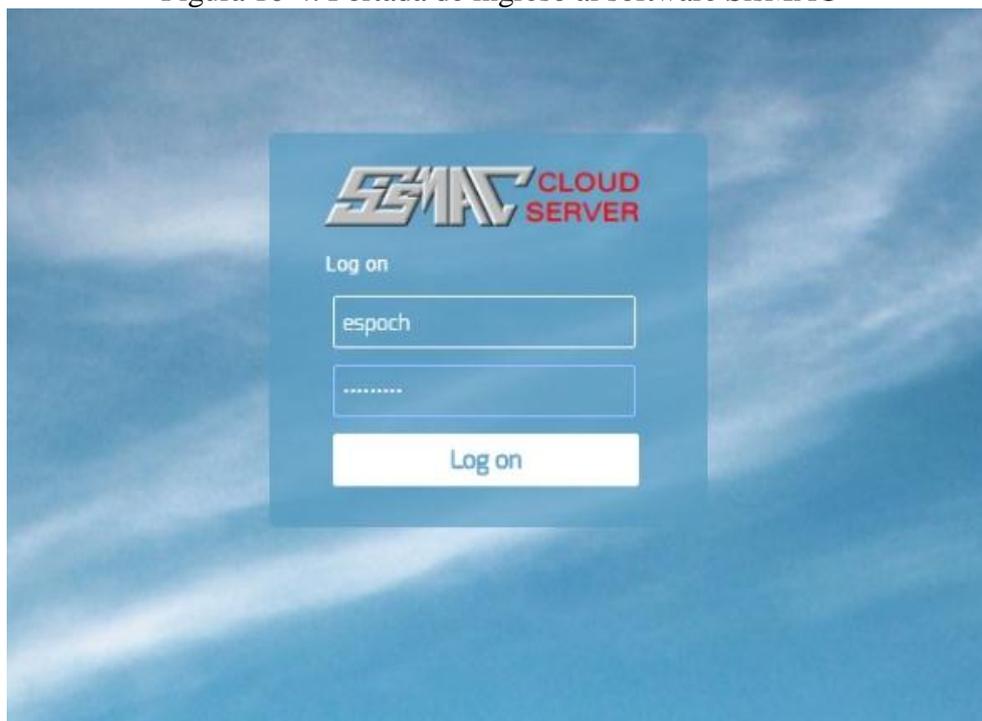
- Lista de repuestos
- Listado de inventarios
- Listado de activos
- Listado del personal
- Fichas técnicas
- infraestructura
- actividades de mantenimiento, etc.

#### 4.2 Presentación del SisMAC

**4.2.1** *Portada de ingreso al sistema.* Para entrar al software no se requiere de un ordenador especial, se puede ingresar a éste desde cualquier computador, con la única condición que tenga conexión a internet. Una vez dentro se debe ingresar a la dirección electrónica: cloud1.sismac.net, una vez dentro la portada solicita el ingreso del nombre de usuario y contraseña. En el caso de este proyecto el cliente es la ESPOCH, y los nombres de usuario varía según el tesista o consumidor.

La última versión del software permite acceder a la plataforma desde un Smartphone, su descarga está disponible desde google play o apple store.

Figura 10-4. Portada de ingreso al software SisMAC



Fuente: sismac.net

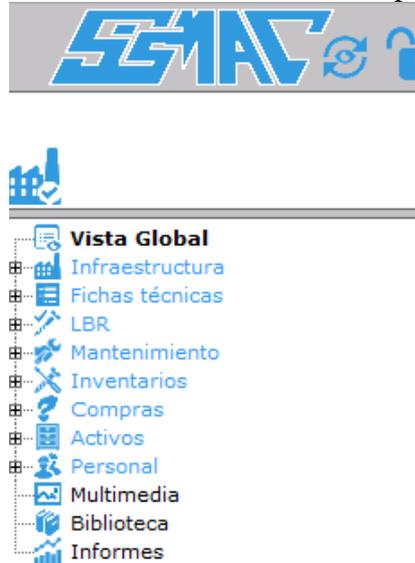
Figura 11-4. Ingreso al SisMAC según el usuario



Fuente: sismac.net

**4.2.2** *Presentación del menú principal.* Esta ventana del software presenta los diversos módulos que se mencionaron anteriormente, cada uno puede ser seleccionado y editado según sea necesario.

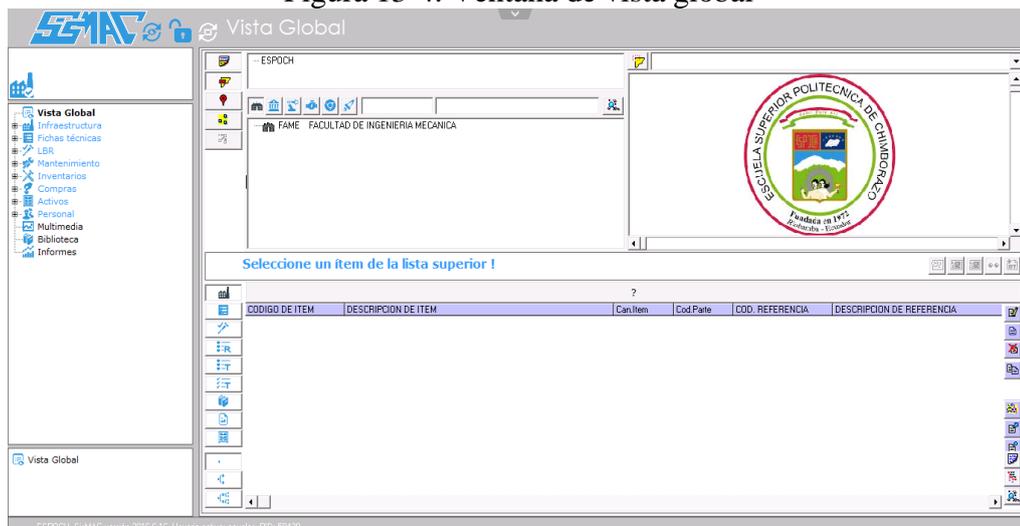
Figura 12-4. Presentación de módulos principales



Fuente: sismac.net

Cada opción despliega un listado, o nueva ventana según lo permita el software, cada cambio que sea realizado en cualquier ventana puede ser guardado o cancelado.

Figura 13-4. Ventana de vista global



Fuente: sismac.net

Esta ventana deja visualizar un sin número de opciones adicionales a las anteriores el logotipo ubicado en la esquina superior derecha varía según el cliente, el cual para este

caso es la ESPOCH.

### 4.3 Módulos SisMAC

**4.3.1 Inventarios.** Para iniciar con el trabajo en el software SisMAC, crear el inventario y la codificación de los bienes es fundamental.

Tabla 22-4. Niveles jerárquicos del SisMAC

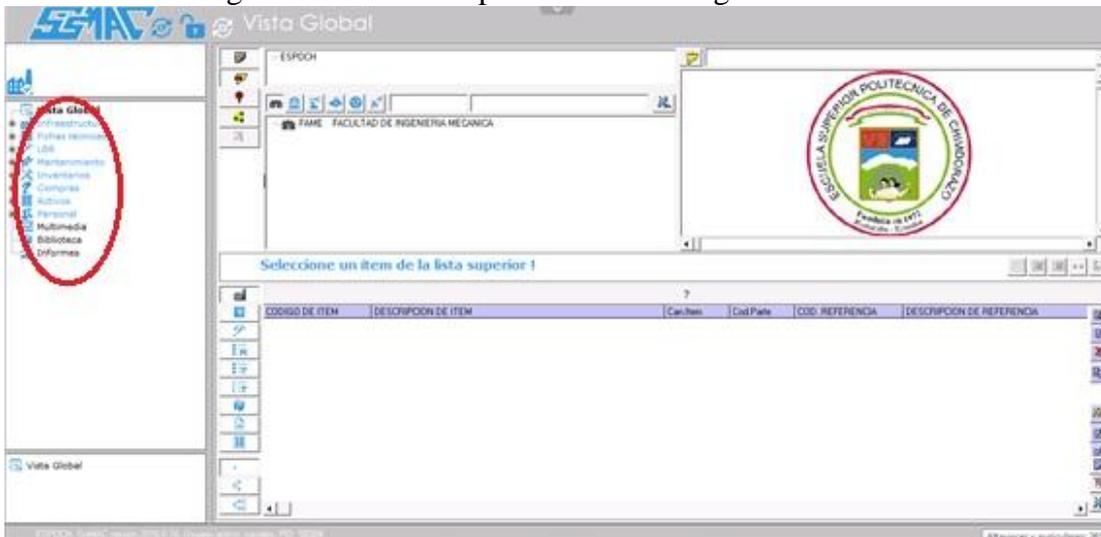
Nivel	Nombre predefinido	Descripción
1	Cliente	Facultad de Mecánica ESPOCH
2	Edificio	Laboratorios
3	Sistema	Módulos, Bancos de pruebas
4	Equipo	Motor, bomba
5	Componente	Partes de un equipo
6	Elemento	Partes de un componente

Fuente: sismac.net

El sistema de codificación que se usó está determinado en el capítulo 3, en la página 27, este método de codificación permite diferenciar y organizar de mejor manera los equipos de cada laboratorio.

La pantalla principal del SisMAC presenta una variedad de opciones. Las que se encuentran en la esquina superior izquierda permite añadir los laboratorios, edificios, codificación, etc.

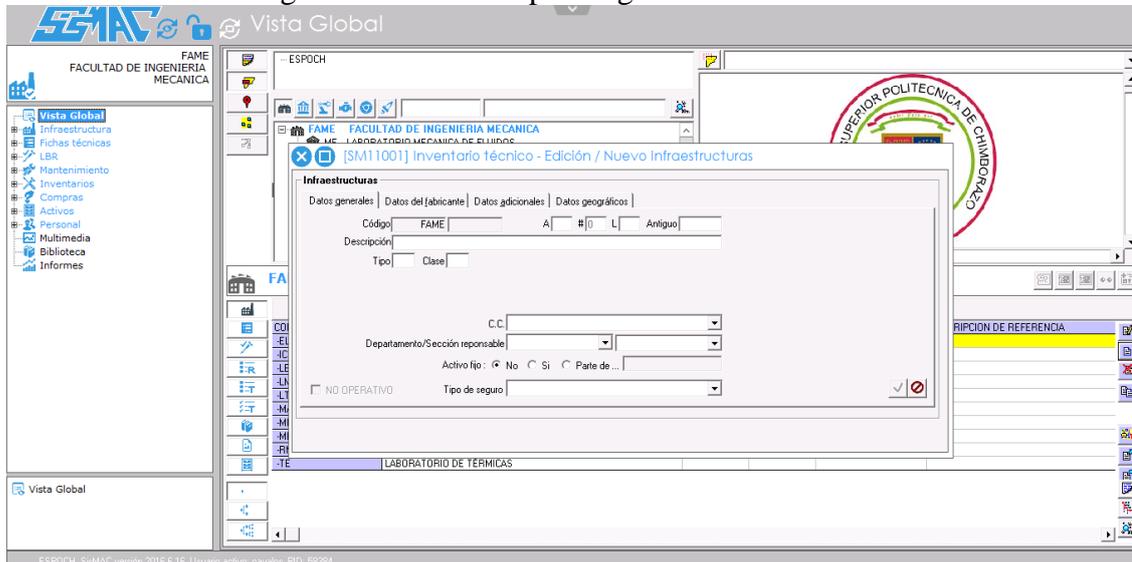
Figura 14-4. Pantalla predeterminada según el SisMAC



Fuente: sismac.net

Una vez que se ha ingresado el cliente se anota los laboratorios en la opción de edificios, según la codificación ya mencionada.

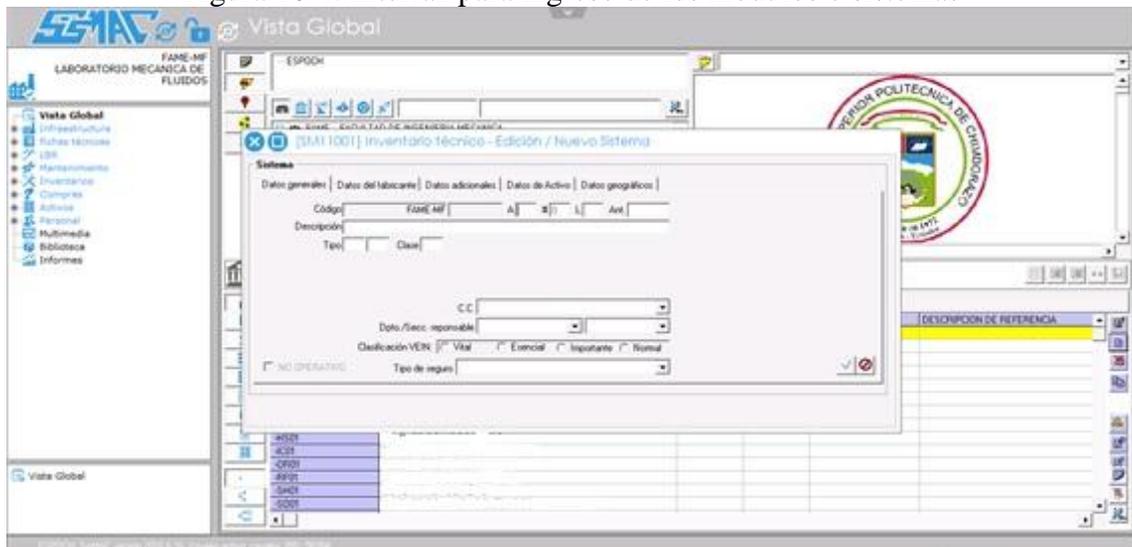
Figura 15-4. Interfaz para ingreso de los edificios



Fuente: sismac.net

Después de realizado el ingreso de los edificios se procede con la introducción de los módulos o sistemas de cada laboratorio.

Figura 16-4. Interfaz para ingreso de los módulos o sistemas



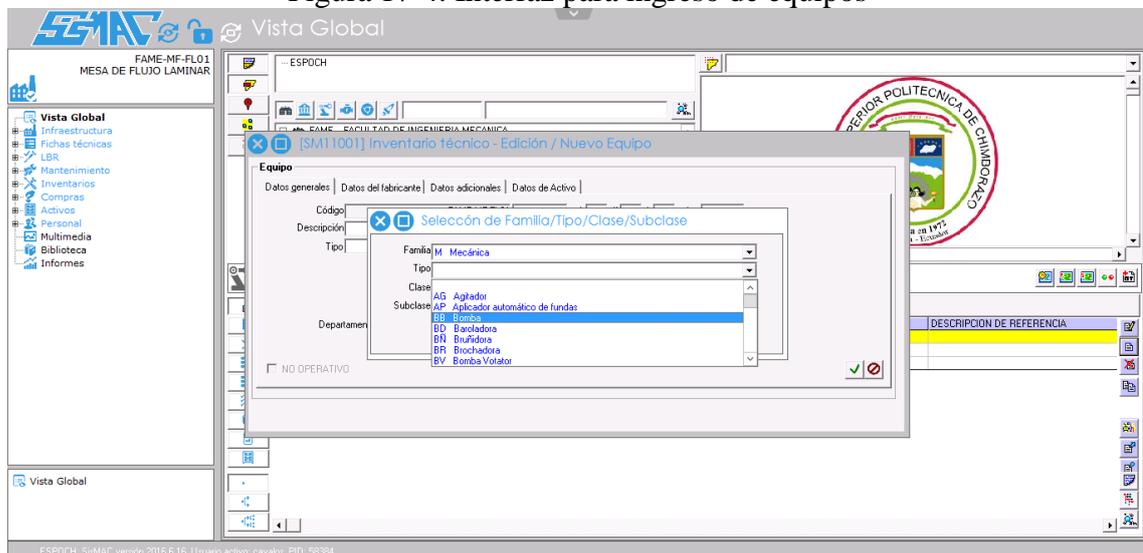
Fuente: sismac.net

Para el ingreso de los equipos se debe realizar una denotación adicional para diferenciar las diversas familias. Determinando las siguientes palabras y letras clave:

- E: Eléctrica
- M: Mecánica
- P: Procesos
- S: Seguridad industrial
- I: Instrumentación
- C: Civil
- D: Informática
- K: Control de calidad
- N: Minas y canteras

Hasta este nivel de inventariado se debe ingresar de carácter obligatorio, el ingreso de elementos y componentes queda a conveniencia del usuario si se ingresa o no. Es recomendable que se ingresen todos los niveles jerárquicos de inventario, sin embargo para evitar incrementar la complejidad en el plan se concluirá sin los dos últimos niveles.

Figura 17-4. Interfaz para ingreso de equipos



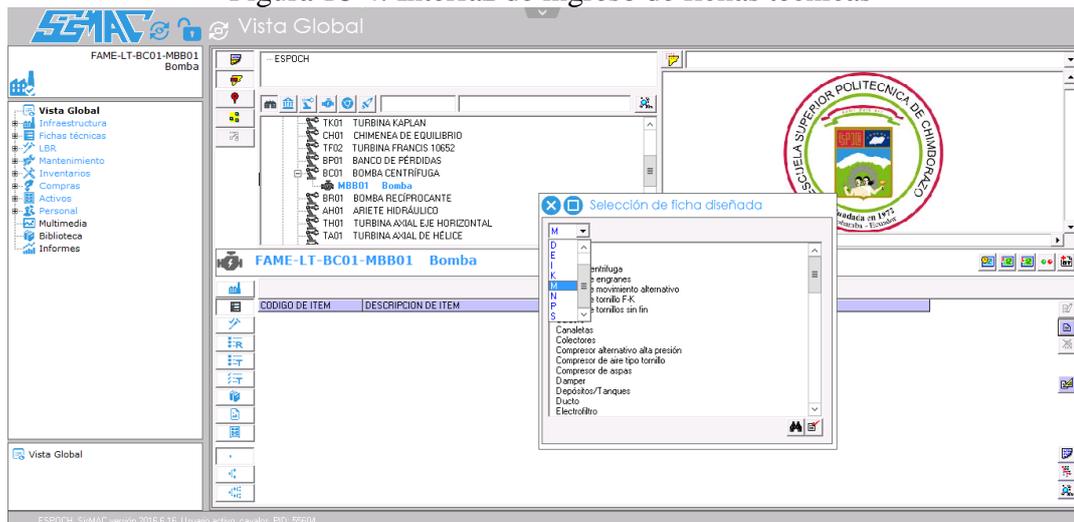
Fuente: sismac.net

**4.3.2 Fichas técnicas.** En la opción de fichas técnicas se ingresan las especificaciones de cada equipo, componente y elemento. Las fichas técnicas elaboradas en el capítulo anterior se ingresan aquí, es decir, cada detalle y características es especificada según corresponda. Después de ingresar todos estos datos se seleccionó la familia a la que pertenece cada equipo. La información ingresada en el software presta

grandes beneficios al usuario como:

- Cualquier ordenador con internet permite el ingreso a la plataforma.
- No existe pérdida de información.
- Facilidad para digitalizar las fichas técnicas.

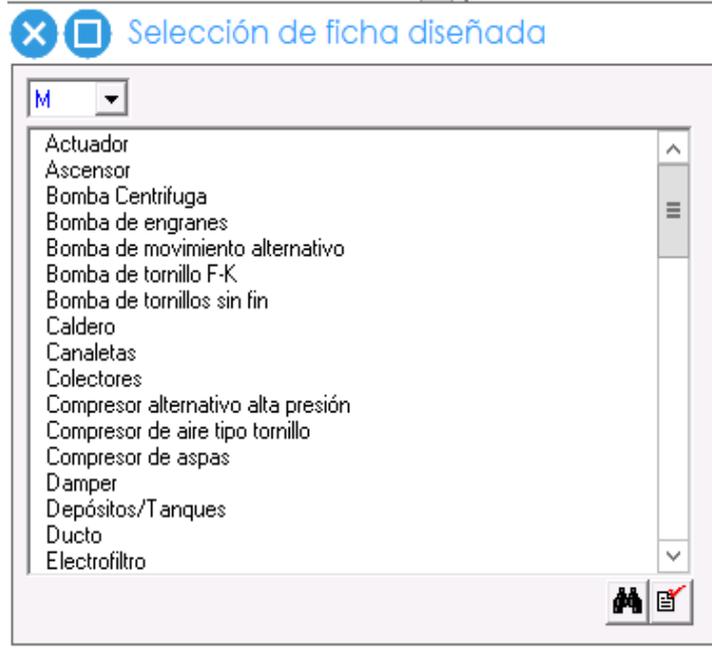
Figura 18-4. Interfaz de ingreso de fichas técnicas



Fuente: sismac.net

Posterior al ingreso del tipo de familia a la que pertenece el equipo se procede a marcar el tipo de equipo para llenar la ficha técnica.

Figura 19-4. Interfaz de selección del formato de ficha técnica



Fuente: sismac.net

Una vez elegido el tipo de ficha técnica se despliega una nueva interfaz para ingresar cada característica de los equipos.

Figura 20-4. Interfaz de ingreso de datos de ficha técnica

**DATOS GENERALES**

Marca	ESPOCH
Modelo	
No. Serie	98112
No. Manual	
Tipo	Generador de vapor
Tamaño	
Fabricante	ESPOCH
Proveedor	
Fecha fabricación	
Fecha de operación	
Prioridad	Alta

Fuente: sismac.net

En cada una de estas ventanas se puede ingresar datos específicos de cada equipo para una mejor comprensión de los mismos al momento de realizar mantenimiento.

Figura 21-4. Interfaz de ingreso de datos de fichas técnicas

**DATOS ESPECIFICOS**

Largo, cm	<input type="text"/>
Ancho, cm	<input type="text"/>
Alto, cm	<input type="text"/>
Peso, Kg	<input type="text"/>
Diametro tuberia de admisión, Plg	<input type="text"/>
Diametro tuberia de descarga, Plg	<input type="text"/>
Tipo de fluido a manejar	<input type="text" value="Agua"/>
Número de etapas, Und	<input type="text"/>
Altura de bombeo, cm	<input type="text"/>

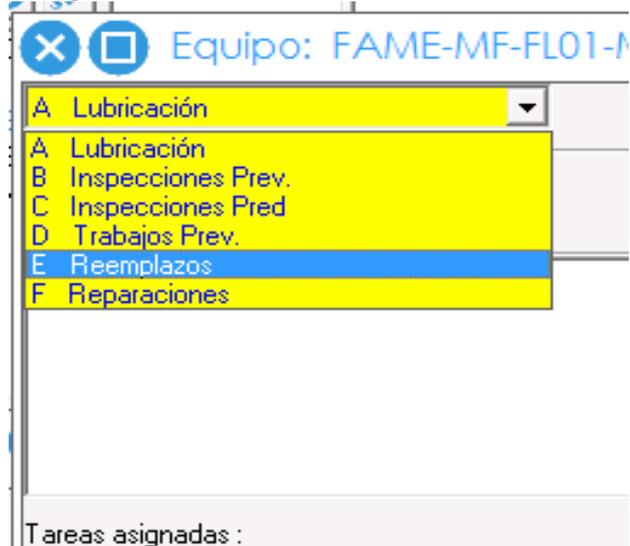
Fuente: sismac.net

**4.3.3 Tareas de mantenimiento.** Después de haber ingresado los datos en los respectivos módulos se procede al ingreso de las tareas de mantenimiento para cada equipo, según lo establecido en las tablas del AMEF.

Para seleccionar las tareas también es imperativo seleccionar la familia de tarea a realizar. Estas familias están designadas en el software de manera ordenada y sistemática con las siguientes letras:

- A: Lubricación
- B: Inspección preventiva
- C: Inspección predictiva
- D: Trabajos preventivos
- E: Reemplazos
- F: Reparaciones

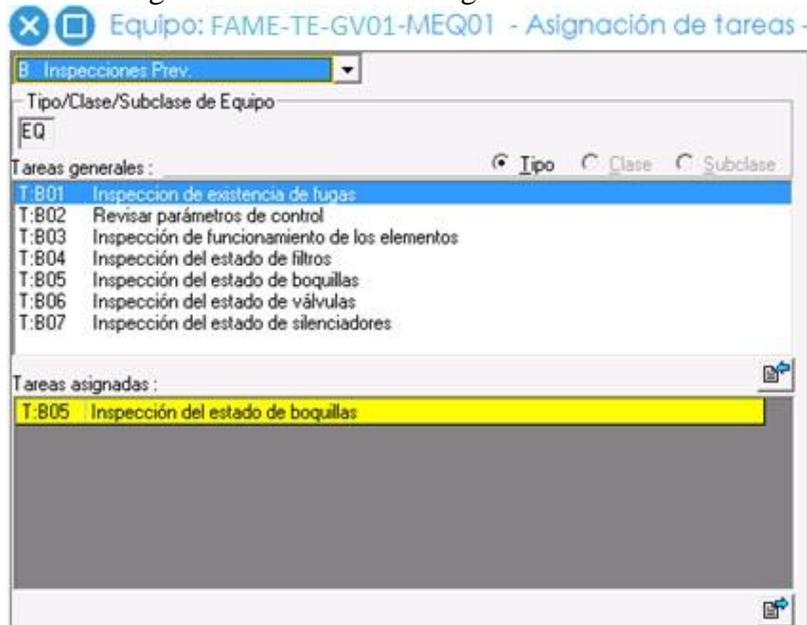
Figura 22-4. Interfaz de selección de tareas



Fuente: sismac.net

Estas tareas comprenden las actividades que se pueden realizar según el software, sin embargo el sistema es flexible en caso de ser necesario se pueden generar nuevas tareas según lo requiera el usuario, facilitando y adaptando el software a la necesidad de cada equipo, basándose en su contexto operacional, criticidad, estado técnico y demás características técnicas.

Figura 23-4. Interfaz de ingreso de sub-tareas



Fuente: sismac.net

Una vez seleccionada la tarea es posible seleccionar una sub-tarea que complemente dicha tarea. Estas se pueden escoger según la familia del equipo a ala que corresponda.

En caso de no existir una tarea ya definida por el SisMAC que se ajuste al contexto operacional del equipo, se puede editar la descripción de una tarea o crear una nueva.

Figura 24-4. Interfaz para edición de las tareas de mantenimiento

Equipo: FAME-TE-GV01 - Tarea asignada -

**Tarea**  
Inspección del estado de boquillas  Importante

Programación | Tiempos | Operación | Costos | Adicional

**Frecuencia**  
 Prog.  Ninguna  Días  
12 Semanas  
 Cícl. F.ini.

**Asignación**  
Dpt./sec.    
Empleado   
Proveedor

**Ultima ejecución**  
F.   
L.  ?????

**Programación actual / Próxima**  
F.a  F.p   
L.  ?????

M.Obra Mater. Herram. Parants.

Fuente: sismac.net

En esta ventana de interacción con el usuario se selecciona la opción de edición para proceder con la programación de intervalos de frecuencia de mantenimiento.

Figura 25-4. Interfaz de edición para las frecuencias de mantenimiento

Equipo: FAME-TE-GV01-MEQ01 - Tarea asignada -

**Tarea**

Inspección del estado de boquillas  Importante

Programación | Tiempos | Operación | Costos | Adicional

**Frecuencia**

Prog.  Ninguna  Días

12 Semanas

Cícl.

**Asignación**

Dpt./sec.

Empleado

Proveedor

**Ultima ejecución**

F.

L.

**Programación actual / Próxima**

F.a  F.p.

L.

Validar parámetros desde Tarea general

M.Obra Mater. Herram. Params.

Fuente: sismac.net

La determinación de la frecuencia se la puede realizar en días, semanas o meses, esto ya está definido según el software. Sin embargo se pueden editar las opciones y generar nuevos intervalos de frecuencia en que pueden realizar las tareas de mantenimiento y éstas son: horas, kilómetros, RPM, consumo, etc. Todo esto según la conveniencia del usuario, para facilitar la gestión del mantenimiento en cada equipo.

Una vez culminado este último punto las tareas de mantenimiento quedan ya establecidas en el software, y dependerá de los gestores o responsables del mantenimiento de cada laboratorio de la facultad para cumplir con cada una de las acciones o tareas a realizarse, además de mantener el control adecuado y atender a la respectiva programación de tiempos, fechas, costos de mantenimiento y demás.

Figura 26-4. Interfaz de edición de tiempos para frecuencias de mantenimiento

The screenshot shows a software window titled 'Equipo: FAME-TE-GV01 -MEQ01 - Tarea asignada -'. The main window is titled 'Tarea' and contains a text field with 'Inspección del estado de boquillas' and an 'Importante' checkbox. Below this are tabs for 'Programación', 'Tiempos', 'Operación', 'Costos', and 'Adicional', with 'Tiempos' selected. The 'Tiempos' section is divided into two main areas: 'Tiempo de ejecución' and 'Tiempo de parada'. Under 'Tiempo de ejecución', there are input fields for 'Preparación' (0:0) and 'Ejecución' (0:0), each with checkboxes for 'X und.', 'Fijo', and 'Ninguno'. Under 'Tiempo de parada', there are input fields for 'Previo' (0:0) and 'Total' (0:0), each with an 'Estimable' checkbox. At the bottom of the window, there are buttons for 'M.Obra', 'Mater.', 'Herram.', and 'Params.'.

Fuente: sismac.net

Mediante esta ventana se pueden editar los tiempos de las frecuencias programadas de los intervalos de las tareas de mantenimiento asignadas.

Figura 27-4. Interfaz de edición de operaciones para las frecuencias de mantenimiento

The screenshot shows the same software window as Figure 26-4, but with the 'Operación' tab selected. The 'Tarea' title and the 'Inspección del estado de boquillas' field remain. The 'Operación' section includes a 'Ficha de parámetros' field with a dropdown menu and an 'Inactiva' checkbox. Below this is the 'Estado operación, en..' section with radio buttons for 'Funcionamiento', 'Parada de..', and 'Funcionamiento / Parada'. The 'Parada de..' option has sub-options for 'Equ.', 'Inf.', and 'Loc.'. To the right is the 'Histórico permanente' section with a checked 'Área ejecutada' checkbox and a 'Nivel' dropdown menu. The bottom buttons 'M.Obra', 'Mater.', 'Herram.', and 'Params.' are also visible.

Fuente: sismac.net

Este módulo permite especificar el estado de operación de los equipos, para la realización de las respectivas tareas de mantenimiento.

Figura 28-4. Interfaz de edición de los costos de mantenimiento

Equipo: FAME-TE-GV01 -MEQ01 - Tarea asignada -

**Tarea**

Inspección del estado de boquillas  Importante

Programación | Tiempos | Operación | **Costos** | Adicional

**Costos de tarea**

Mano de obra (Especialistas)	0
Materiales / Repuestos	0
Varios (Alquiler equipos, herramientas, etc.)	0
<b>TOTAL</b>	0

Servicio externo

Cant.	0
Unidad	
Pr.Un.	0
% Ben.	0

M.Obra Mater. Herram. Params.

Fuente: sismac.net

La opción de programación de tareas permite el ingreso de datos adicionales en caso de ser necesario.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

En los Laboratorios de Térmicas, Materiales y Resistencia de Materiales, más del 90% de las tareas de mantenimiento correspondían a tareas de planes de mantenimiento basados en indicaciones del fabricante y planes basados en protocolos. Sin embargo información como: modelos de fichas técnicas, datos técnicos de los equipos, responsables de los laboratorios y algunas tareas de mantenimiento sirvieron como línea base para la realización de este trabajo de titulación.

Mediante termografía, análisis de vibraciones y prueba de funcionamiento se determinó el estado técnico de los equipos resultando que más del 70% tienen un estado técnico bueno y se elaboraron planillas informativas para cada equipo, las cuales contienen las siguientes especificaciones: nombre del equipo, código SisMAC, cualificación de las características de los equipos y el análisis termo gráfico y vibraciones. Permitiendo tener una información más completa, ágil y disponible en el caso de necesitarla.

Para la elaboración de la hoja de datos técnicos o fichas técnicas el 50% de la información proviene desde el inventario facilitado por la unidad de control de bienes, mientras que la información restante se deriva del análisis de modos y efectos de falla AMEF, resultando una ficha técnica integral, en la misma se puede visualizar información relevante de cada equipo.

Con la aplicación de la metodología RCM se identificó tareas de mantenimiento apropiadas al contexto operativo de cada equipo, priorizando la atención de los equipos que realmente necesitan una intervención. La matriz y flujo grama de criticidad ayudaron a identificar los activos más críticos mientras que con el árbol de tareas se verificó la pertinencia de tareas propuestas.

Se ingresaron al software SisMAC las tareas y frecuencias de mantenimiento resultantes del AMEF aplicado a cada equipo, así como también las fichas técnicas. El uso de este

software sistematizó la información y contribuye a mejorar la gestión de los equipos de cada laboratorio, facilitando la utilización de la documentación técnica por parte del responsable del laboratorio y técnico de mantenimiento.

## **5.2 Recomendaciones**

Actualizar el inventario y la codificación de equipos cada vez que se ingrese un nuevo módulo o máquina a los laboratorios.

Impedir el acceso de personas no autorizadas al software, para evitar la incorrecta utilización de la información, cambio de contraseña, pérdida de información, variación de datos, tiempos, costos, frecuencias, nombres y códigos de los equipo ingresados en el programa.

Usar técnicas más modernas como ultrasonido activo, ultrasonido pasivo, análisis de lubricantes y análisis de eficiencia energética, para conseguir una mejor valoración del estado técnico de los equipos.

Continuar con las tareas de mantenimiento para optimizar recursos de los laboratorios, además es necesaria la asignación de un responsable fijo para cada laboratorio que se encargue del manejo del software.

## BIBLIOGRAFÍA

- AGÜERO & M. CALIXTO, I.** *Análisis De Criticidad Integral De Activos. R2M. S.A Reliability and Risk Management*, Maracaibo-Venezuela, 2007, pp. 1-14.
- UNE-EN13306.** *Mantenimiento. Terminología del mantenimiento. Parte 2: Términos Fundamentales.*
- BATISTA, C.** *Diagnóstico Técnico de Maquinas Rotativas.* Segunda edición. Cuba- La Habana: Holguín, 2005, pp. 46-54
- COVENIN.** *Mantenimiento definiciones.* Venezuela-Caracas: Fondonorma, 1993, pp. 97-99.
- CREAU, A.** *Instrumentación Industrial.* Octava Edición. México-Guatemala: Alfaomega Grupo Editor, 2010. pp. 792-795.
- DUFFUAA, S.** *Sistemas de mantenimiento, planeación y control.* México-Guatemala: Limusa Wiley, 2000, pp. 24-27.
- GARCÍA, S.** *Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento industrial.* Madrid-España: Renovetec, 2013, pp. 14-16.
- HERNÁNDEZ, S.** *Metodología de la investigación.* México-Guatemala: McGraw-Hill, 2010, pp. 43-49.
- JUAREZ, H.** *Análisis de criticidad.* México-D.F.: Limusa, 2007, pp. 98-101.
- LLANES, A.** *Mantenimiento planificado.* México-Guatemala: Hall, 2001, pp 72.
- MARTÍNEZ, U.** *Guía básica de calderas industriales eficientes.* México.D.F.: Hall, 2000, pp. 33-38.
- MONCHY, F.** *Teoría y práctica del mantenimiento industrial.* Barcelona-España: Masson, 1990, pp. 223-231.
- MOUBRAY, J.** *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.* Londres-Gran Bretaña: Biddles Ltd, 1996, pp. 67-69.
- MOUBRAY, J.** *Reliability centered Maintenance.* New York-Estados Unidos: Industry press, 1996, pp. 72-74.
- PARRA, C.** *Taller de mantenimiento centrado en la confiabilidad.* Caracas-Venezuela: Planeta Venezolana, 2008, pp. 421-422.
- REY, F.** *Hacia la excelencia en el mantenimiento.* Madrid-España: TGP Hoshin, 1996, pp. 213.6
- ROSALER, R.** *Manual del ingeniero de planta.* New York-Estados Unidos: Mac Graw-Hill, 2002, pp. 29-34.
- SMITH, J.** *Reliability maintainability and risk: practical methods of engineers .* Oxford-Inglaterra: Butterworth Heinman, 2001, pp. 322-324.
- ZAMORA, M.** *Estadística descriptiva e inferencial.* Lima-Perú: Moshera S.R.L., 2003, pp 34-38.
- NAVAIR-00-25-403.** *Guidelines for the Naval Aviation ReliabilityCentered Maintenance Process.* Direction of commander, NAVAL AIR SYSTEMS COMMAND, 2005, pp. 30.