

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción

“Diseño de un plan de mantenimiento total con el soporte de un sistema de gestión de mantenimiento asistido por ordenador (GMAO) para una Institución de Educación Superior”

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Materia Integradora

Previo a la obtención del título de:

INGENIEROS MECÁNICOS

Presentado por:

Félix David Sabando Meza

Milton Jesús Tapia Villarreal

GUAYAQUIL-ECUADOR

Año: 2017

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por habernos permitido llegar a esta fase académica; a nuestros padres y hermanos(as) por haber sido un pilar fundamental durante este periodo estudiantil, y a todos los profesores los cuales nos impartieron sus conocimientos, y que nos motivaron a ser mejores personas; con valores, educación y una moral bien cimentada, y con la compartición de sus experiencias y sus conocimientos nos harán llegar a la meta deseada.

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Félix David Sabando Meza

Milton Jesús Tapia Villarreal

Víctor Rodrigo Guadalupe Echeverría, Msc.

y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.



Félix David
Sabando Meza
Autor 1



Msc. Víctor Rodrigo
Guadalupe Echeverría
Tutor



Milton Jesús
Tapia Villarreal
Autor 2

RESUMEN

En la mayoría de las instituciones de educación superior tienen varios laboratorios con gran número de equipos, cada uno de estos equipos tienen distintas necesidades de mantenimiento inherentes a su antigüedad, tipo, y tiempo de uso. Al tenerse gran número de equipos, se presentan problemas como el desconocimiento, tanto en número, como en las necesidades de mantenimientos requeridos, así como el peligro de no realizarlas.

El presente trabajo utilizó las técnicas generales para la elaboración de planes de mantenimiento, aplicándolas en estos laboratorios, con el fin de implantar dicho plan en un sistema de gestión de mantenimiento (GMAO), para su posterior implementación. Las técnicas utilizadas como análisis de criticidad y análisis de modos de falla permitieron identificar los equipos que requieren mayor atención por parte de los encargados del mantenimiento, así como los componentes y accesorios donde se deben ejecutar dichas actividades, con el fin de prevenir fallas, accidentes, y prolongar su vida útil. Luego se presentan los beneficios para la gestión de mantenimiento; como la generación automática de calendarios, órdenes de trabajo, y creación de catálogos, logrados al utilizar como soporte el sistema de gestión de mantenimiento asistido por ordenador, y la manera como estos ayudan a resolver los problemas identificados en los laboratorios. Adicionalmente se determinaron los costos involucrados, tanto de su puesta en marcha (\$5.613,00) y en su implementación (\$17.433,00). También se realizó un plan de manejo de desechos, el cual ayuda a disminuir el impacto que generan estos residuos obtenidos durante las actividades de mantenimiento en los laboratorios, y gracias a esto se obtiene una disminución de contaminación al medio ambiente. Finalmente se concluye con el análisis de criticidad que la mayoría de los equipos son de prioridad baja, mientras que solo las calderas son de prioridad alta, debido a que el método de análisis se basa fundamentalmente en el riesgo, tanto en la seguridad de los usuarios como en la del medio ambiente.

Palabras Clave: GMAO, análisis de criticidad, modos de fallo, manejo de desechos, mantenimiento.

ABSTRACT

In most institutions of higher education there are several laboratories with large number of equipment, each of this equipment have different maintenance needs inherent to their age, type, and time of use. Having many equipment, there are problems such as the lack of knowledge, both in terms of number and the required maintenance needs, as well as the danger of not doing them.

The present work used the general techniques for the elaboration of maintenance plans, applying them in these laboratories, to implant this plan in a maintenance management system (CMMS), for its later implementation. The techniques used as critical analysis and failure mode analysis allowed the identification of equipment that requires greater attention from maintenance personnel, as well as the components and accessories where these activities should be performed, to prevent failures, accidents, and extend its useful life. Then the benefits for maintenance management are presented; Such as the automatic generation of calendars, work orders, and catalog creation, achieved by using the computer-aided maintenance management system as support, and how they help solve problems identified in laboratories. In addition, the costs involved were determined, both for its start-up (\$ 5,613.00) and its implementation (\$ 17,433.00). A waste management plan was also carried out, which helps to reduce the impact of these wastes obtained during maintenance activities in laboratories, and as a result, a reduction of pollution to the environment is obtained. Finally, it is concluded with the criticality analysis that most of the equipment is of low priority, whereas only the boilers are of high priority, because the method of analysis is based fundamentally on the risk, both in the safety of the users as in the environment.

Keywords: CMMS, criticality analysis, failure modes, waste management, maintenance.

ÍNDICE GENERAL

Contenido

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Descripción del problema.....	1
1.1.1. Identificación de las causas	1
1.2. Objetivos.....	6
1.2.1. Objetivo general.....	6
1.2.2. Objetivos específicos	6
1.3. Marco teórico	7
1.3.1. Definiciones	7
1.3.2. Gestión del mantenimiento	8
1.3.3. Tipos de mantenimiento	8
1.3.4. Descripción de las máquinas	9
1.3.5. Indicadores en mantenimiento	16
1.3.6. Definición del sistema GMAO	18
1.4. Análisis de Alternativas de solución	18
1.4.1. Software MP9	19
1.4.2. Software GMAOLinx 7.0	20
1.4.3. Software Blazar 4.0.....	21
1.4.4. Criterios de selección.....	23
1.4.5. Ponderación de los criterios de selección	24
1.4.6. Procedimiento de selección de alternativas	26
1.4.7. Matriz de selección	27
1.4.8. Alternativa seleccionada	28
CAPÍTULO 2.....	29

2. METODOLOGÍA DE DISEÑO	29
2.1. Esquema de las etapas de diseño	29
2.2. Descripción de la metodología	29
2.2.1. Levantamiento de información.	29
2.2.2. Consulta de manuales de mantenimiento	30
2.2.3. Organización de la información	30
2.2.4. Asignación de códigos y jerarquización	30
2.2.5. Determinación de modos de fallo.	32
2.2.6. Actividades y frecuencias de mantenimiento.....	33
2.2.7. Ingreso del plan al software MP9.	33
2.2.8. Repuestos y consumibles	33
2.2.9. Manejo de desechos	33
2.2.10. Análisis de Costos	34
2.3. Diseño del plan de mantenimiento	34
2.3.1. Jerarquización de activos análisis de criticidad	34
2.3.2. Análisis de modos y efectos de fallos.....	56
2.3.3. Selección de actividades de mantenimiento.....	65
CAPÍTULO 3.....	68
3. RESULTADOS.....	68
3.1. Costos.....	68
3.1.1. Análisis de costos	68
3.1.2. Costos de puesta en marcha	68
3.1.3. Costos de implementación	72
3.1.4. Costos de repuestos	72
3.2. Manejo de Desechos.	74
3.3. Resultados técnicos.....	81
3.3.1. Implantación de las actividades del Plan de Mantenimiento en el GMAO ..	82
CAPÍTULO 4	87
4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	87
4.1. Conclusiones	87
4.2. Recomendaciones	89
BIBLIOGRAFÍA	90
ANEXOS	93

ABREVIATURAS

MCEM	Matriz Cualitativa de Excelencia en Mantenimiento
CIF	Costes de Indisponibilidad por Fallos
DT	Tiempo fuera de servicio
IR	Ingresos reales del proceso de producción al año.
G	Gastos del proceso de producción al año.
VP	Valor de venta unitario del producto.
CF	Costes fijos.
CO	Costes operacionales.
CMP	Costes de mantenimiento preventivo.
CMC	Costes de mantenimiento correctivo.
CMMS	Computerized Maintenance Management System.
TPM	Mantenimiento productivo Total.
CTR	Criticidad total por riesgo.
CNC	Control numérico computarizado.
FMEA	Análisis de modos y efectos de fallos.
ASME	American Society of Mechanical Engineers.
GMAO	Gestión de mantenimiento asistido por ordenador.

SIMBOLOGÍA

<i>\$</i>	Dólar.
<i>S</i>	Seguridad.
<i>Q</i>	Calidad.
<i>W</i>	Tiempo de trabajo.
<i>D</i>	Impacto operacional.
<i>F</i>	Fiabilidad.
<i>M</i>	Mantenibilidad.
<i>TTF</i>	Tiempos operativos hasta el fallo
<i>n</i>	Número total de fallos en periodo evaluado
<i>MTTF</i>	Tiempo Promedio Operativo hasta el Fallo
<i>MDT</i>	Tiempo Promedio fuera de servicio
<i>FF</i>	Frecuencia de Falla
<i>MDT</i>	Tiempo promedio fuera de servicio
<i>CD</i>	Costos directos de corrección por fallos por hora
<i>CP</i>	Cantidad de producción al día.
<i>C</i>	Consecuencias del fallo
<i>cc</i>	Centímetros cúbicos

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Diagrama de causa - efecto.....	6
Figura 1. 2 Máquina de Ensayo Universal (compresión)	10
Figura 1. 3 Máquina de Ensayo Universal (tensión)	10
Figura 1. 4 Caldera de 10bar.....	11
Figura 1. 5 Turbina Francis	12
Figura 1. 6 Turbina Pelton	12
Figura 1. 7 Túnel Supersónico de Viento.....	13
Figura 1. 8 Túnel Supersónico de Viento.....	14
Figura 1. 9 Banco hidráulico.....	14
Figura 1. 10 Dinamómetro para análisis de motores	15
Figura 1. 11 Dinamómetro para análisis de motores eléctricos	15
Figura 1. 13 Ventana principal del MP9.....	20
Figura 1. 14 Ventana del GMAOLinx.....	21
Figura 1. 15 Opciones del Software Blazar 4.0	22
Figura 2. 1 Etapas de diseño.....	29
Figura 2. 2 Método del flujograma de análisis de criticidad	31
Figura 2. 3 Procedimiento para realizar el FMEA	56
Figura 2. 4 Lateral del horno de la caldera	57
Figura 2. 5 Accesorios de la caldera	58
Figura 2. 6 Diagrama para determinar consecuencias de modos de fallo.....	64
Figura 3. 1 Clasificación de Costos.	68
Figura 3. 2. Cadena de Gestión de desechos no Peligrosos.	79
Figura 3. 3. Cadena de Gestión de Desechos Peligrosos.	81
Figura 3. 4 Catálogo de los Equipos Ingresados	82
Figura 3. 5 Catálogo de Localizaciones.....	83
Figura 3. 6 Vista de actividades de mantenimiento por equipo.	84
Figura 3. 7 Vista de Calendario de todos los Equipos.	84
Figura 3. 8 Vista de Calendario Anual por Equipo.	85
Figura 3. 9 Formato de Orden de Trabajo Sección Superior.	85
Figura 3. 10 Formato de Orden de Trabajo Sección Inferior.....	86

Figura B. 1 Cronograma.....	97
Figura B. 2 Cronograma.....	97
Figura B. 3 Cronograma.....	98
Figura E. 1 Layout del Laboratorio de Termofluidos.....	123
Figura E. 2 Layout del Laboratorio de Investigación y Desarrollo.....	125
Figura E. 3 Layout del Laboratorio de Microbiología de Alimentos.....	126
Figura E. 4 Layout del Laboratorio de Operaciones Unitarias.....	127
Figura E. 5 Layout del Laboratorio CAMPRO.....	128
Figura E. 6 Layout del Laboratorio de Bromatología.....	129

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Comparación de criterios de selección	25
Tabla 1. 2 Conteo de resultados de tabla 1.1	25
Tabla 1. 3 Peso relativo de los criterios	26
Tabla 1. 4 Matriz de selección generalizada	27
Tabla 1. 5 Matriz de selección	27
Tabla 2. 1 Matriz de criticidad del modelo CTR.	32
Tabla 2. 2 Demostración de jerarquización de activos.....	34
Tabla 2. 3 Análisis de los peligros	38
Tabla 2. 4 Daños clasificados por su gravedad.	38
Tabla 2. 5 Niveles de riesgo	39
Tabla 2. 6 Jerarquización de componentes de planta de vapor	40
Tabla 2. 7 Jerarquización de máquinas térmicas.....	41
Tabla 2. 8 Jerarquización de bombas de calor	42
Tabla 2. 9 Jerarquización de bancos hidráulicos	43
Tabla 2. 10 Jerarquización de túneles didácticos	44
Tabla 2. 11 Jerarquización de compresores y ventiladores	44
Tabla 2. 12 Jerarquización de máquinas de torneado	45
Tabla 2. 13 Jerarquización de máquinas de fresado	46
Tabla 2. 14 Jerarquización de máquinas de taladrado	46
Tabla 2. 15 Jerarquización de máquinas para procesos abrasivos	47
Tabla 2. 16 Jerarquización de máquinas con movimiento alternativo	48
Tabla 2. 17 Jerarquización de equipos varios	48
Tabla 2. 18 Equipos para centrifugado	49
Tabla 2. 19 Equipos para calentamiento	49
Tabla 2. 20 Jerarquización de equipos para análisis y otros.....	50
Tabla 2. 21 Equipos del laboratorio de Microbiología	51
Tabla 2. 22 Equipos para calentamiento o que utilizan vapor	52
Tabla 2. 23 Molinos y refrigeradores	52
Tabla 2. 24 Equipos especiales.....	53
Tabla 2. 25 Equipos para mecanizado tipo convencional	53
Tabla 2. 26 Equipos para mecanizado tipo CNC	54

Tabla 2. 27 Equipos para impresión y escaneo 3D	54
Tabla 2. 28 Equipos para análisis.....	55
Tabla 2. 29 Equipos para medición	55
Tabla 2. 30 Equipos para preparación de muestras y otros.....	56
Tabla 2. 31 Funciones de los componentes de la caldera	60
Tabla 2. 32 Fallos funcionales de los componentes de la caldera	61
Tabla 2. 33 Modos de fallo de la bomba de alimentación	62
Tabla 2. 34 Modos de fallo de la válvula de retención	62
Tabla 2. 35 Modos de fallo del interruptor de control de doble mando.....	62
Tabla 2. 36 Modos de fallo del quemador.....	62
Tabla 2. 37 Modos de fallo del ventilador de tiro forzado.....	63
Tabla 2. 38 Modo de fallos del banco de tubos	63
Tabla 2. 39 Modos de fallo de la válvula de parada.....	63
Tabla 2. 40 Modos de fallo del regulador de presión	63
Tabla 2. 41 Modos de fallo de la válvula de seguridad	63
Tabla 2. 42 Modos de fallo del control de sobre descenso	63
Tabla 2. 43 Equipos de modos de fallo con consecuencias a la seguridad	65
Tabla 2. 44 Equipos con modos de fallo con consecuencias operacionales.....	65
Tabla 3. 1 Costo promedio de varios materiales.....	69
Tabla 3. 2 Costo promedio de varias herramientas.	70
Tabla 3. 3 Costo estimado de materiales/año.	71
Tabla 3. 4 Costos totales de puesta en marcha.....	71
Tabla 3. 5 Stock mínimo de repuestos para calderas.	72
Tabla 3. 6 Stock mínimo de repuestos para motores Diésel de 4 tiempos.....	73
Tabla 3. 7. Inventario de residuos peligrosos y no peligrosos.....	75
Tabla 3. 8. Frecuencia de generación de residuos.	76
Tabla C. 1. Tabla de tipos de lubricantes.	104
Tabla C. 2. Lista de Lubricantes.....	106
Tabla E. 1 Ubicación de los equipos de Termofluidos	123
Tabla E. 2 Ubicación de los equipos de Investigación y Desarrollo.	125
Tabla E. 3 Ubicación de los equipos de Microbiología de Alimentos.	126

Tabla E. 4 Ubicación de los equipos de Operaciones Unitarias.....	127
Tabla E. 5 Ubicación de los equipos de CAMPRO.	128
Tabla E. 6 Ubicación de los equipos de Bromatología.....	129

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción del problema.

En los laboratorios de una institución de Educación Superior, se tiene una gran cantidad de bienes, de variados tiempos de uso y estados de funcionamiento. En muchos casos, los administradores desconocen el número de equipos y el tipo de mantenimiento que requieren, así como el riesgo que involucra el no realizarlo oportunamente; A esto se suma el retraso en los trámites para la adquisición de repuestos, y al abandono de algunos de ellos por tal motivo.

1.1.1. Identificación de las causas

Durante la visita a los laboratorios, y dialogando con el responsable del área, se obtuvieron ciertas observaciones que reflejan la desorganización de estos en lo que respecta al mantenimiento, Ver figura 1.1. No se contaba con registros de tiempo de uso (horas), reportes de fallos y mantenimientos, ya que no se exige como procedimiento obligatorio al momento de usar los equipos, tampoco existen formatos elaborados para poder realizar los respectivos registros.

(Márquez, 2012) presenta una matriz cualitativa de excelencia en mantenimiento (MCEM) con diferentes criterios y sus etapas, desde la etapa de incertidumbre (mínima) hasta la etapa de excelencia. En lo que concierne al criterio de manejo de la información y proceso de toma de decisiones, la etapa de incertidumbre se describe como: **"No se maneja ningún registro de mantenimiento-la poca data que se recopila es de muy baja calidad"**, que es la situación actual de los laboratorios en cuanto a este criterio.

Para destacar la importancia del registro de uso de los equipos en horas, podemos poner como ejemplo el Banco de pruebas del motor Diesel

mono cilíndrico tipo AA1, en cuyo manual se especifican mantenimientos rutinarios diarios, cada 50, 250, 500, 1000 y 2000 horas (Petter, 1966), con diferentes actividades respectivamente, sin embargo, no se lo realiza debido a que no se lleva un registro de tiempo de uso.

Adicionalmente, para enfatizar la importancia de los manuales se recalca como ejemplo la Caldera, que es una máquina considerada de alto riesgo, cuyo manual nos indica que hay operaciones de mantenimientos mensuales, tales como: **“limpiar filtros de la bomba de alimentación, electrodos de encendido del quemador” y “el plato de vórtices del quemador”** (Boilers, 1980), pero esto no se cumple a cabalidad con la frecuencia establecida, es decir, cada mes, sino que se lo realiza anualmente.

Otro de los criterios que presenta la Matriz Cualitativa, es el adiestramiento del personal, posicionándonos nuevamente en la etapa de incertidumbre, ya que nos dice que: **"trabajo de mala calidad son aceptados, entrenamiento se considera innecesario, ausencia de procedimientos, herramientas en mal estado"** (Parra, 2012). Lo que insinúa nuevamente la necesidad de una mejora, así como de la adquisición de herramientas que faciliten realizar los mantenimientos en las máquinas.

Con respecto al personal de mantenimiento de la caldera, en base al Reglamento Español de Equipos a Presión aprobado por el Real Decreto 1244/1979 se dice que: **"la empresa debe disponer de la documentación que acredita la capacitación del personal"** (Ministerio de Industria, 2011) en el área de calderas - recipientes a presión, para aquellas personas que realizaran el mantenimiento de la caldera, en base a todo esto se podría decir que no se está cumpliendo con esta norma.

Algunos de los objetivos de la mantenibilidad en el diseño de los equipos, es reducir el tiempo y el costo invertidos durante su

mantenimiento (Blanchard & Lowery, 1969), esto es debido a que los tiempos de parada de las grandes industrias representan un costo elevado, sin embargo, para el sitio de estudio de este proyecto, este tiempo no es un factor que represente pérdidas económicas a esta escala, es por esto que la implementación de un plan de mantenimiento no se considera una prioridad. Dado lo anterior, no se invierte en la compra de herramientas para realizar dichos trabajos, tampoco para disponer de un stock de repuestos.

Otros problemas son la antigüedad de algunos equipos, para los que es difícil o casi imposible encontrar repuestos, unos ejemplos de esto son las máquinas de ensayos universales de marca INSTRON, modelos 1230 y 1128, las cuales no se han podido reparar por falta de repuestos y porque tiene un sistema de control obsoleto, por lo tanto, se ha optado a realizar una restructuración de estas máquinas.

En lo que concierne a las herramientas de los laboratorios, en una Institución de Educación Superior debe tener todas las necesarias para dar mantenimiento a cada una de las máquinas sin necesidad de comprarlas justo en el momento del mantenimiento, en estos laboratorios existen muchas máquinas nuevas que por ser tan modernas, no se obtienen fácilmente los repuestos ni las herramientas necesarias porque no las hay localmente sino toca importarlas para realizar un previo mantenimiento, y motivo a esto es que se solicita especialistas en el área o se aplica la garantía del producto para poder realizar el mantenimiento de forma eficiente.

Para llevar a cabo el trabajo de mantenimiento son necesarias muchas herramientas, pero debido a que la institución no tiene técnicos que ejecuten el mantenimiento, sino que contrata empresas para realizarlo, no posee un stock de herramientas. En el capítulo 12, (Viloria, 1997) presenta algunas de las herramientas que se necesitarían para la realización del mantenimiento a instalaciones, como son: tornillo de

banco, equipo portátil de soldadura, diferencial para manipular piezas pesadas, taladradora de sobremesa con su juego de brocas, esmeril portátil, máquina fija de esmerilado, taladros portátiles, caja de herramientas mecánicas, caja de machos y terrajas, juego de llaves fijas para tuercas y tornillos de cabeza cuadrada o hexagonal, llaves ajustables, cortafríos, juego de destornilladores, conjuntos de llaves allen, macho y terraja para roscado manual, arco de sierra, llaves especiales para el accionamiento de piezas con giro (apriete o aflojado), diversos tipos de llave para aflojar tuercas y tornillos: Allen, estrella, carraca, tubulares, para apriete por golpeo, alicates, punzones y granete.

Aparte de estas herramientas para desarmar, se requieren herramientas para el control como son: Escuadras, reglas y mesas, galgas y plantillas, pie de rey, micrómetro, calibres, comparador de reloj, llave dinamométrica, multímetro, electropinza, termómetros, manómetros, tacómetros que midan revoluciones, sonómetro, etc.

Para poder tener éxito en llevar a cabo un plan de mantenimiento, el personal que lo ejecuta debe tener una formación previa adecuada y en continuo crecimiento. Algunos de los requerimientos de formación presentados en (Viloria, 1997) son:

- ❖ Cursos técnicos de formación
- ❖ Conocimiento de la tecnología que llevan los aparatos
- ❖ Complementos de formación con cursos impartidos por el proveedor
- ❖ Estudio de los dossieres técnicos
- ❖ Lectura de revistas técnicas
- ❖ Lectura de libros técnicos
- ❖ Experiencia de otros técnicos. Intercambio de impresiones.
- ❖ Normas de seguridad.
- ❖ Normas técnicas.
- ❖ Historial de las máquinas.

Los técnicos deben tomar con responsabilidad el trabajo de actualizar sus conocimientos ya que, si no, pierden competencias, y adquieren miedo a asumir responsabilidades a las que no podrán hacer frente.

Considerando que la Seguridad Industrial es un tema muy indispensable para todos, y mucho más en el siglo XXI, debido a que toda Institución de Educación Superior debe dar mayor énfasis en este tema, en vista de que es un centro donde se forman futuros profesionales, y se busca implantar en ellos conocimientos sobre Seguridad Industrial, para que apliquen esos conocimientos en sus futuros trabajos, y así puedan prevenir cualquier tipo de accidente.

Hasta la actualidad no se ha establecido ningún Sistema de Seguridad Industrial, que este basado con las normas y técnicas de prevención para aquellos que laboran en los laboratorios. Además, se sabe que estos carecen de medidas de protección personal, tanto así que existen ciertas máquinas que se encuentran en la entrada de las oficinas de los profesores, y existen áreas que están destinadas a ser bodegas.

Según (Salud, 2006), referente a las redes de distribución de vapor menciona que hay que realizar mantenimientos diarios: *“Toda la red de distribución de vapor debe ser revisada diariamente para determinar si hay pérdidas en uniones, tees, codos, válvulas, etc. Reportar las fallas al departamento de mantenimiento para proceder a efectuar cualquier reparación que sea necesaria”* (Valves, 2013), sin embargo, existen fugas de vapor y de condensado en las redes de distribución que se evidencian durante la operación de la planta de vapor de uno de los laboratorios bajo estudio, indicando esto, que no se realiza este mantenimiento.

En la figura 1.1 se resumen las causas descritas previamente.

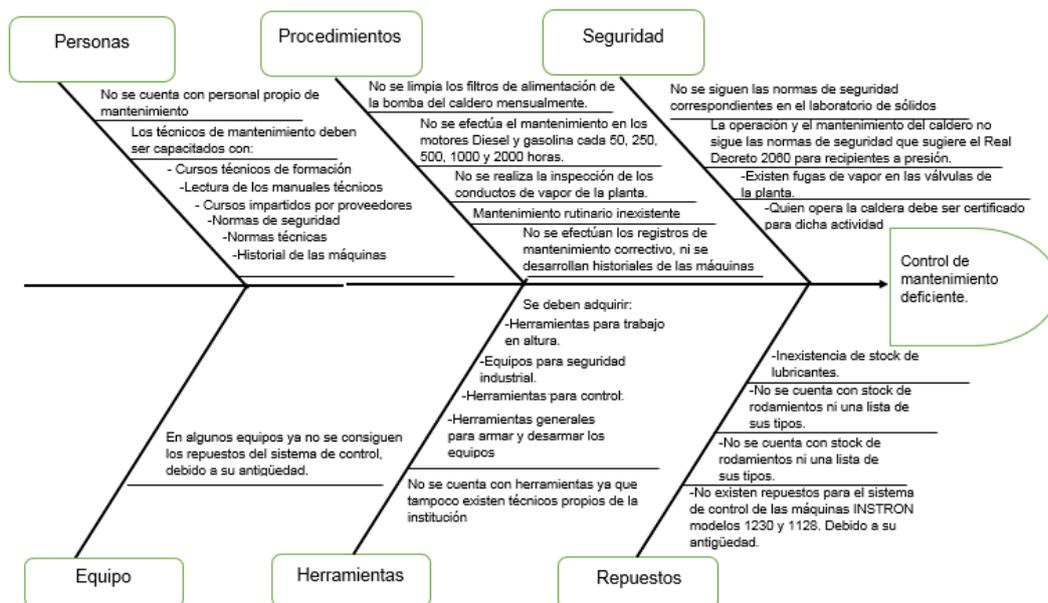


Figura 1. 1 Diagrama causa - efecto

Fuente: Elaboración propia

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Diseñar un plan de mantenimiento total con el soporte de un sistema de gestión de mantenimiento asistido por ordenador, para una institución de educación superior.

1.2.2. Objetivos específicos

- ❖ Diseñar un plan de mantenimiento total, basado en los manuales de los equipos de los laboratorios de una facultad de una Institución de Educación Superior.
- ❖ Analizar costos de puesta en marcha, implementación y repuestos de las máquinas.
- ❖ Elaborar una base de datos de los repuestos necesarios para el plan de mantenimiento.
- ❖ Elaborar una base de datos de los equipos del laboratorio, en el software MP9 para su puesta en marcha.
- ❖ Elaborar un plan de manejo de desechos generados en el mantenimiento de los equipos.

1.3. Marco teórico

Para poder entender con facilidad el desarrollo de este trabajo, deben conocerse varios conceptos, que se presentan a continuación:

1.3.1. Definiciones

- ❖ **Proceso de producción:** Secuencia de operaciones dirigidas a transformar materias primas en productos, bienes o servicios, utilizando las instalaciones, el personal y los medios tecnológicos adecuados. (Olarte, Botero, & Cañon, 2010).
- ❖ **Falla:** Deterioro o daño presentado en una de las piezas de una máquina, el cual produce trastorno en su funcionamiento. (Olarte, Botero, & Cañon, 2010).
- ❖ **Parada:** Interrupción ocasionada por fallas presentadas en las máquinas que conforman un proceso de producción. (Olarte, Botero, & Cañon, 2010).
- ❖ **Reparación:** Conjunto de actividades orientadas a restablecer las condiciones normales de operación de una máquina. (Olarte, Botero, & Cañon, 2010).
- ❖ **Mantenimiento Industrial:** Son todas las actividades que se realizan sobre bienes y equipos que prestan algún servicio, o cumplen alguna función; con el fin de alargar su vida útil, mantenerlos en servicio, o de rehabilitarlos después de haberse detectado un fallo (Irim, 2013).

Todas las actividades de mantenimiento permiten mejorar la disponibilidad de los equipos o bienes con el fin de llevar la productividad a niveles óptimos (Irim, 2013).

Hoy en día las actividades de mantenimiento están involucrando no solo al personal de mantenimiento, sino a casi todos los miembros de la estructura organizacional de las empresas, con lo que se

conoce hoy en día como TPM (Mantenimiento Productivo Total) (Méndez, 2008).

- ❖ **Plan de mantenimiento:** es el conjunto de tareas de mantenimiento programado, agrupadas o no siguiendo algún tipo de criterio, y que incluye a una serie de equipos de la planta, que habitualmente no son todos. Hay todo un conjunto de equipos que se consideran no mantenibles desde un punto de vista preventivo, y en los cuales es mucho más económico aplicar una política puramente correctiva (Irim, 2013).

1.3.2. Gestión del mantenimiento

Son procedimientos que hacen mantener, restablecer o corregir un bien (equipo o máquina) en buen estado, o aseguran un servicio determinado mediante, la conservación adecuada de lo analizado, esto hace disminuir las probabilidades de falla parcial o total de los equipos analizados (González, 2010).

Las empresas o instituciones tienen el reto de cómo mejorar sus actividades de gestión del mantenimiento para ser más eficientes. Lo cual se recuerda que para esto existen dos factores: el ambiente y la subsistencia de la organización (Lopez, 2013).

1.3.3. Tipos de mantenimiento

Los trabajos de mantenimiento que se realizan sobre un bien pueden ser de distintos tipos, pueden realizarse para corregir fallos o para prevenirlos, y entre los tipos de mantenimiento tenemos:

- ❖ **Mantenimiento correctivo**

Este mantenimiento solo se lo realiza cuando el equipo haya fallado, este mantenimiento se lo aplica con la finalidad de reducir costos en mantenimientos preventivos como son costos de inspecciones, reparaciones (Preciado, 2012).

❖ **Mantenimiento preventivo**

El mantenimiento preventivo son técnicas que se realizan con la finalidad de disminuir o evitar reparaciones futuras que pueden tener los equipos o máquinas y así poder asegurar la disponibilidad total de la misma. Para poder llevar a cabo el mantenimiento es necesario realizar inspecciones y renovar elementos que se encuentren deteriorados (Preciado, 2012).

❖ **Mantenimiento predictivo**

El mantenimiento predictivo son técnicas que permiten reducir los costos del mantenimiento, preventivo y correctivo, asegurando siempre la disponibilidad de los elementos que conforman la planta. Este tipo de mantenimiento se lo realiza con seguimientos del estado del equipo mediante monitorizaciones continuas, que ayudan a realizar sustituciones y reparaciones cuando sea necesario sin necesidad de realizar inspecciones, y así se reducirá los fallos imprevistos (Preciado, 2012).

❖ **Mantenimiento productivo total**

El TPM son procedimientos que se enfocan en la eliminación de pérdidas ocasionadas por paros de los equipos, calidad y costes en los procesos de producción (Porter, 2012).

1.3.4. Descripción de las máquinas

❖ **Máquinas de ensayos universales (tensión y compresión)**

Esta máquina se asemeja a una prensa, con aplicaciones como someter materiales a ensayos de tracción o compresión con la finalidad de analizar sus propiedades. Estas máquinas tienen marca Louis Small, modelo UT40TA12, serie 45084, y código 45084 la máquina de tensión, y la máquina de compresión con marca ESPOL, serie S/S, modelo ESPOL, código LME-MUE-002.

La presión se logra mediante placas la cual es accionada por un sistema hidráulico. Este equipo comprueba la resistencia del material de la probeta que se analiza, además posee un sistema que ayuda aplicar cargas controladas sobre una probeta y se obtiene la deformación y el momento de la ruptura de la misma en forma de gráfica (Pinto, 2010).

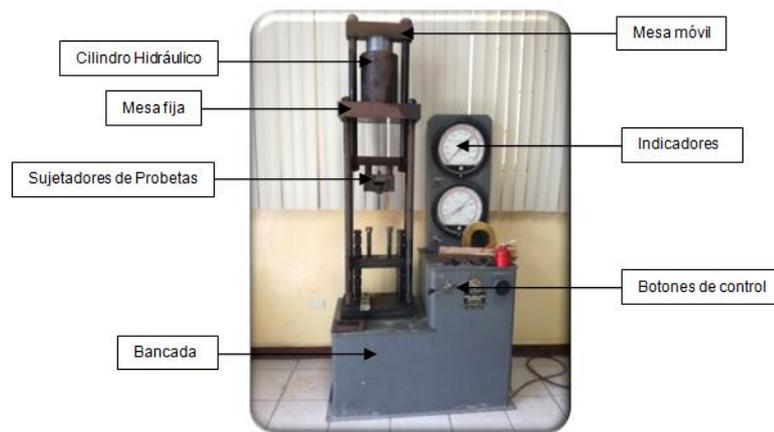


Figura 1. 2 Máquina de ensayo universal (compresión)

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Sólidos de ESPOL

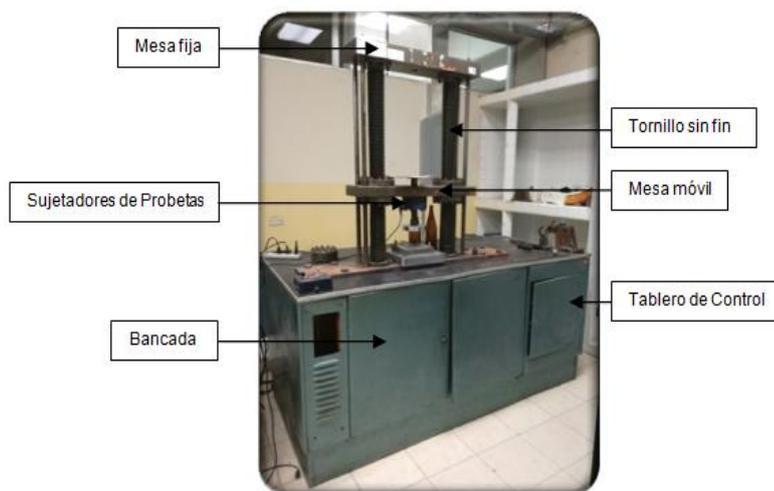


Figura 1. 3 Máquina de ensayo universal (tensión)

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Sólidos de ESPOL

❖ **Caldera de 10bar**

Las calderas pirotubulares tienen como característica que el calor circula por el interior de los tubos mientras que el agua circula por el exterior de los tubos. Esta caldera es de marca Thompson modelo

Minipac 3, serie G-2326, y código 2971. Se utilizan para presiones máximas de 10bar y consumos de hasta 30 toneladas de vapor por hora.

Las calderas son recipientes metálicos, de acero que tiene forma cilíndrica, tienen atravesados tubos que por cuyo interior circulan gases de combustión. Las superficies de calefacción en contacto con las llamas y los gases de combustión son irrigadas con agua, calentada y vaporizada gracias a su circulación natural interna (Nelly, 1996).

Las burbujas de vapor se encuentran acumuladas en la cámara superior, el cual es por donde salen en forma de vapor. Este equipo es diseñado según el principio de dos, tres o cuatro etapas (Nelly, 1996).



Figura 1. 4 Caldera de 10 bar

Fuente: Laboratorio de Termofluidos de ESPOL

❖ **Turbina Francis**

En el laboratorio existen dos tipos de turbinas una turbina Francis la cual es de marca Gilkes, modelo GH-S8, serie 41612, código 02697, y una turbina Pelton con marca Gilkes, modelo GH-S3, modelo 41611 y código 02698.

Las turbinas se utilizan para utilizar la energía que tiene el agua en movimiento. Existen diferentes tipos de turbinas Kaplan, Pelton, Francis, la Kaplan tiene una hélice semejante a la de un barco. Los álabes son impulsados por agua a alta presión. La Pelton tiene un funcionamiento parecido al de un molino de agua. La rueda gira cuando el agua golpea sus álabes. El agua sale a una presión alta e impulsa los álabes lo cual esto hace girar un eje (Collet, 1950).

Las turbinas que más se comercializan son la Pelton y la Francis debido a sus aplicaciones, características y condiciones de funcionamiento que ofrecen (Collet, 1950).



Figura 1. 5 Turbina Francis
Fuente: Laboratorio de Termofluidos de ESPOL



Figura 1. 6 Turbina Pelton
Fuente: Laboratorio de Termofluidos de ESPOL

❖ Túnel supersónico de viento

Este equipo trabaja de manera continua cuando se encuentra abierto. Este equipo es de marca Gilkes, modelo GA10, serie 41673 y código 02690.

Este equipo está compuesto por varias partes, y entre ellas existe un componente central del túnel, la cual es una sección que se encuentra cerrada con dos ventanas colocadas una enfrente de la otra. Este equipo también contiene diferentes cuerpos de resistencia aerodinámica (Hamburg, Túnel de Viento Supersónico con Visualización del Flujo, 2014).

Para poder visualizar los frentes de choque y las líneas de Mach que se producen, se usan la óptica de Schlieren, las ondas de choque tienen variaciones de presión y por esto como resultado se obtiene cambios de densidad, la óptica de Schlieren hace visible las diferencias de densidad en el aire (Hamburg, Túnel de Viento Supersónico con Visualización del Flujo, 2014).



Figura 1. 7 Túnel Supersónico de Viento

Fuente: Laboratorio de Termofluidos de ESPOL

❖ Taladro eléctrico de pedestal

El taladro de pedestal es un equipo utilizado para perforar un material mediante el proceso de arranque de viruta. Este equipo es sencillo de utilizar, y a su vez nos da precisión y alta calidad en el resultado. La máquina es de marca Kira, modelo N5D-13R, serie

7804-0904 y código 3524. El taladro tiene diferentes movimientos, la rotación de la broca la cual tiene diferentes velocidades, y es otorgada por el motor, y el avance el cual es un movimiento que permite penetrar la broca en el material base. (Paucar, 2013).

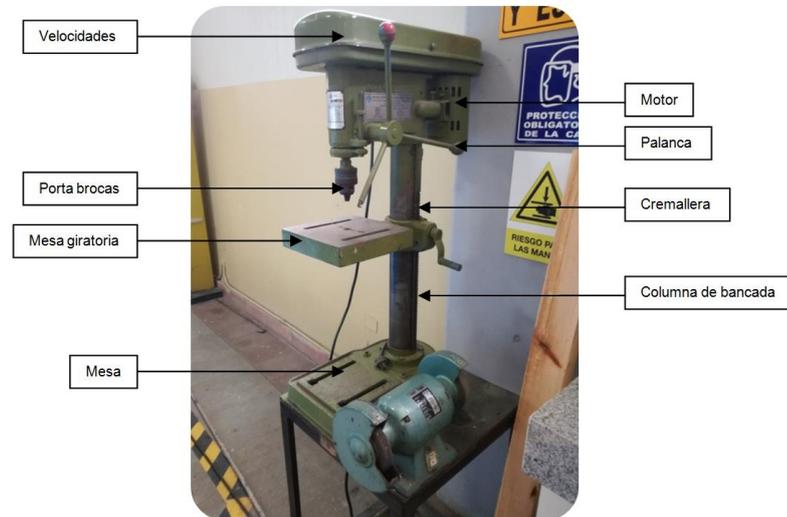


Figura 1. 8 Taladro de pedestal

Fuente: Laboratorio de Termofluidos de ESPOL

❖ **Banco hidráulico**

Estos equipos normalmente se presentan en los laboratorios y son utilizados en experimentos y prácticas relacionadas con la hidráulica. Porque permite estudiar pérdidas de presión de distintos elementos de una instalación. Este equipo está conformado por manómetros, bombas y otros elementos de fontanería. Este banco es de marca Tecouipment, modelo H1, serie 234, código 02692 (Sevilla, 2011).

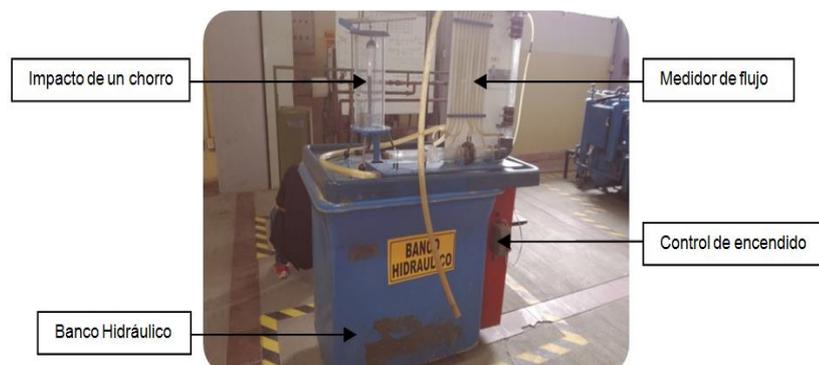


Figura 1. 9 Banco hidráulico

Fuente: Laboratorio de Termofluidos de ESPOL

❖ **Dinamómetro para análisis de motores eléctricos**

Estos equipos son soluciones de ensayos ideales para motores eléctricos. Los dispositivos compactos están orientados a probar un tipo específico de motor, para así poder brindar la misma capacidad que los sistemas modulares, pero a una fracción del costo. Cuando se necesita probar un solo tipo de motor, con una inversión no tan grande, entonces ésta es la mejor solución. Estos equipos son de marcas Go-Power Corporation, modelo MD-8D, serie MD-8D, código 3061 (Meao, 2004).

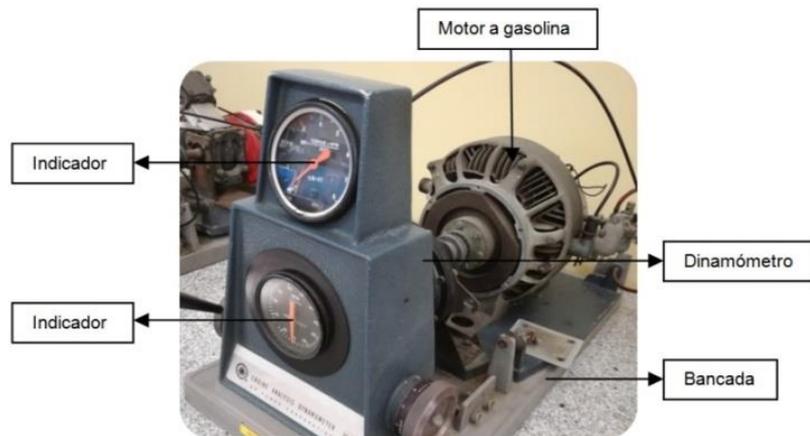


Figura 1. 10 Dinamómetro para análisis de motores

Fuente: Laboratorio de Termofluidos de ESPOL

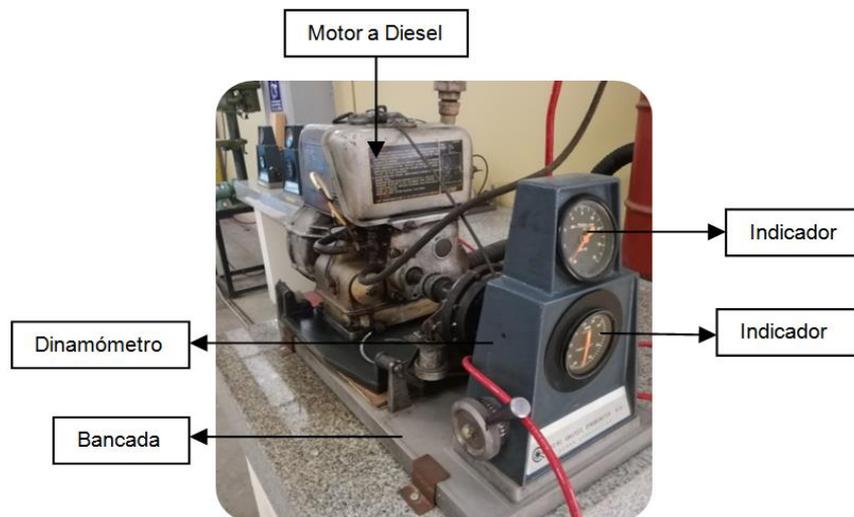


Figura 1. 11 Dinamómetro para análisis de motores Diesel

Fuente: Laboratorio de Termofluidos de ESPOL

1.3.5. Indicadores en mantenimiento

❖ **Indicador de fiabilidad: TPO = MTTF (Tiempo promedio operativo hasta el fallo)**

El tiempo promedio operativo hasta el fallo, es un indicador que mide el tiempo promedio que puede operar un equipo sin instrucciones, es el indicador básico de fiabilidad o continuidad operacional por antonomasia (Márquez, 2012).

$$MTTF = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} TTF_i}{n} \quad \text{ec (1.1)}$$

Dónde:

TTF_i: tiempos operativos hasta el fallo

n: número total de fallos en periodo evaluado

❖ **Indicadores de fiabilidad: FF (Frecuencia de falla).**

La frecuencia de fallos es un indicador que permite medir el número de fallos que tiene un equipo en un cierto período de evaluación (Márquez, 2012).

$$FF = \frac{1}{MTTF} \quad \text{ec (1.2)}$$

Dónde:

MTTF: tiempo promedio operativo hasta el fallo

❖ **Indicador de mantenibilidad: TPFS = MDT (Tiempo promedio fuera de servicio)**

El tiempo promedio fuera de servicio (TPFS), es un indicador que permite saber el tiempo promedio que se tarda en arreglar un componente para tenerlo en óptimas condiciones, después del fallo,

y por esto es el indicador más importante de mantenibilidad (Márquez, 2012).

$$MDT = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} DT_i}{n} \quad \text{ec (1.3)}$$

Dónde:

DT_i: tiempo fuera de servicio

n: número total de fallos en el periodo evaluado

❖ **Indicador de costes: CIF (Costes de indisponibilidad por fallos)**

Los costes de indisponibilidad por fallos (CIF) es un indicador que permite saber el coste promedio que representa el elemento fallido en un tiempo determinado (Márquez, 2012).

$$CIF = FF * MDT * (CD + CP) \quad \text{ec (1.4)}$$

Dónde:

FF: frecuencia de fallos [fallos/mes, fallos/año] etc.

MDT: tiempo promedio fuera de servicio [horas/falla]

CD: costos directos de corrección por fallos por hora [\$/hora] (incluye los costes de materiales y mano de obra)

CP: costes penalización por hora [\$/hora] incluye los costes de oportunidad provocados por los eventos de fallos (paradas de plantas, retrasos de producción, productos deteriorados, baja calidad, retrabajo, impacto en seguridad, ambiente, etc.).

❖ **Indicador operacional: D (Disponibilidad)**

El indicador de disponibilidad es un indicador que permite saber el porcentaje de tiempo que un equipo en funcionamiento representa hasta que este cumpla la función para la cual ha sido creada, suponiendo que se le suministran los medios exteriores necesarios para su operación (combustible, potencia, etc.) (Márquez, 2012).

$$FF = \frac{MTTF}{(MTTF + MDT)} * 100\% \quad \text{ec (1.5)}$$

Dónde:

MTTF: tiempo promedio operativo hasta la falla.

MDT: tiempo promedio fuera de servicio.

1.3.6. Definición del sistema GMAO

Un GMAO es el que nos permite reducir los costes y ser más rentables porque nos da tiempo para la realización de muchas cosas, es decir tiempo de arreglar daños de elementos, para el análisis, tiempo para poder optimizar tareas. Una de las principales ventajas de un GMAO es que nos ofrece tiempo para analizar toda la información con respecto al mantenimiento que se le realiza al equipo (Partida, 2013).

Ventajas de un GMAO:

- ❖ Permitir constatar datos y disponer de ellos en cualquier momento, y esto ayuda a una toma de decisiones más rápida cuando se produce un daño de un elemento en particular.
- ❖ Ayuda a facilitar el análisis del fallo, así pudiendo detectar más fácilmente el fallo del elemento, permitiendo de esta forma atacar la causa raíz.
- ❖ Permite que los mantenimientos realizables sean preventivos o predictivos y no tratar de llegar a un correctivo, lo cual representaría optimización de costes en el mantenimiento y nos ayuda a optimizar tareas y reducir tiempos (Partida, 2013).

1.4. Análisis de Alternativas de solución

Como herramientas para gestionar el mantenimiento, actualmente existen varios programas que presentan muchos beneficios. Se presentarán tres propuestas de software que se pueden utilizar para este propósito.

1.4.1. Software MP9

Este software pertenece al tipo CMMS del inglés (Computerized Maintenance Management System) o sistema de gestión de mantenimiento asistido por computadora. Algunas de las utilidades que ofrece son: la creación de catálogos de los activos; Documentación de planes de mantenimiento y generación automática de calendarios; Generación de órdenes de trabajo; Generación de reportes y gráficos relacionados con el mantenimiento.

La creación de catálogos permite tener a disposición todo lo referente a cada equipo, desde su nombre, tipo, serie, código, así como fotografías, datos de proveedor, ubicación, diagramas, etc.

Los planes de mantenimiento deben ser ingresados para cada equipo o instalación, especificando sus partes, las actividades a realizar y la frecuencia con que se realiza dicha actividad. Esto en lo que respecta al mantenimiento rutinario o preventivo. Una vez especificado esto, el programa generará automáticamente las fechas para la realización de las actividades de mantenimiento.

La generación de órdenes de trabajo es una herramienta que permite especificar el trabajo de mantenimiento que se debe realizar en cada equipo mediante un formato que puede ser editado e impreso por el usuario.

El programa presenta una herramienta útil que permite la generación de gráficos y reportes relacionados con el mantenimiento, como tasa de fallas, tiempo medio entre fallas, etc. Estos indicadores y gráficos se calculan en base a la información de mantenimiento que en este se vaya registrando.

Para poder implementar este software, se deberá adquirir la licencia de uso, que representa un costo inicial, además de disponer de un

ordenador. Así también para la puesta en marcha, se requerirá de personal tanto para el levantamiento de la información como para su ingreso en el software.

Los precios de este software para este país van desde \$1.400,00 para la versión básica monousuario, hasta \$15.000,00 para la versión empresarial con 50 estaciones de trabajo (Internacional, 2017).

En la figura 1.13 se muestra el interfaz de este programa, que se divide en cuatro bloques principales. El primero se encuentra en la parte inferior izquierda, que es el menú de todas las actividades que se pueden realizar. Para cada pestaña del menú principal se desprende un menú secundario, en la parte superior izquierda. El contenido de cada elemento del menú secundario se muestra en el bloque tres y así mismo el cuarto bloque muestra la información de cada selección del tercero.

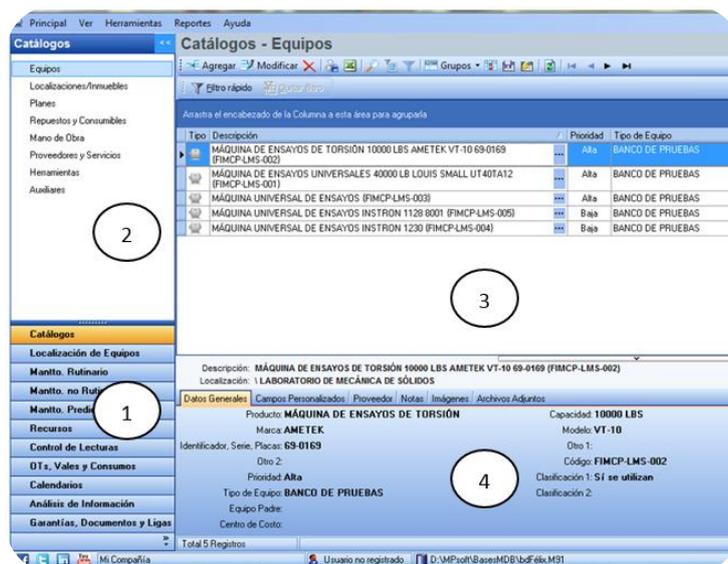


Figura 1. 12 Ventana principal del MP9

Fuente: MP9 versión de prueba

1.4.2. Software GMAOLinx 7.0

Este software presenta todas las funciones que se describieron anteriormente permitiendo además el uso de tabletas para la generación de órdenes de trabajo en campo, conexión con sistemas Scada para

captación de datos y recálculo de planificación de órdenes de trabajo, e integración con cualquier ERP (Planificación de recursos empresariales) de la empresa para compartir información. Su licencia no se basa en módulos, sino que permite usuarios ilimitados. Los precios por su licencia van desde € 9.180,00 en la modalidad mono empresa hasta € 12.180,00 modalidad multiempresa 5. (Informáticas, 2017).

La ventana donde se gestiona el mantenimiento programado en este software se muestra en la figura 1.14. En el bloque uno se ubican los equipos o máquinas registrados en el software, incluyendo su código, fecha en que se programó el mantenimiento, fechas de próximos mantenimientos y las actividades a desempeñar en cada caso, etc. En el bloque 2, se encuentran opciones para la modificación de las actividades de mantenimiento, como edición o ingreso de nuevos equipos. Finalmente se observa un calendario mensual con los días en los que hay actividades programadas, resaltados y enmarcados con color azul.

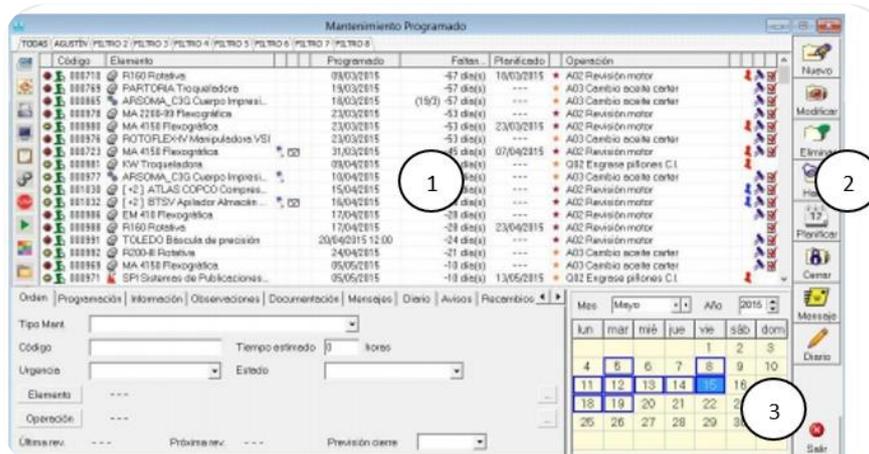


Figura 1. 13 Ventana del GMAOLinx

Fuente: (Informáticas, 2017)

1.4.3. Software Blazar 4.0

Este programa permite el trabajo con un número ilimitado de PC clientes en una de sus versiones (In house), y también dispone de la versión software as a service, o software como un servicio (Saas), en el que los datos se almacenan en servidores de compañías que ofrecen este servicio. Tiene la capacidad para conectarse a Scada para el

intercambio de datos en tiempo real sobre el estado de las máquinas. Permite también el mantenimiento basado en condición, no solo en ciclos temporales, así como indicadores configurables. Además, todas las utilidades de los softwares anteriores. Los precios de este software dependen de la modalidad, que van desde la básica hasta la profesional, costando desde 150,00 Euros por mes la básica; € 3.000,00 la modalidad perfect (In house) y € 300,00 por mes (Saas), y su modalidad profesional €15.000,00 (Intermark, 2017).

La versión gratuita de este software permite registrar un número ilimitado de activos y la generación de órdenes de trabajo para mantenimiento correctivo, así como la generación de informes en base a esta información que se registre en el software. Se ofrece como un Saas, y alojado en la nube. En la figura 1.15 se puede observar cómo luce esta versión del software.

Existen cuatro secciones en esta versión: activos, donde se registran las máquinas o equipos; mantenimientos, donde se asignan las tareas a ejecutar de mantenimiento correctivo; informes, donde se generan gráficas relacionadas con el número de paradas, y de disponibilidad por avería.

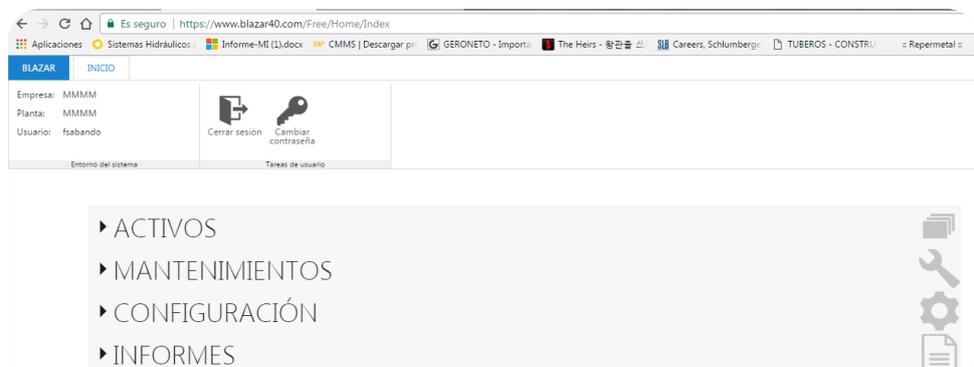


Figura 1. 14 Opciones del software Blazar 4.0

Fuente: (Intermark, 2017)

1.4.4. Criterios de selección

Para poder decidir cuál será la alternativa más conveniente para cumplir con el objetivo planteado de este trabajo, se necesitan establecer los criterios de selección acorde a las necesidades. A continuación, se describen estos criterios:

❖ Costo de licencia

Este criterio se refiere al costo por adquirir el software GMAO, este depende en unos casos, del número de estaciones de trabajo y de la modalidad del software, que puede ser básica o profesional, siendo esta última la que ofrece todas las utilidades.

Se utilizará como costo referencia el de dos estaciones de trabajo, aunque hay programas que permiten un número ilimitado de estaciones de trabajo, pero con costo de licencia fijo.

❖ Tipo de prestaciones

Esto se refiere al tipo de actividades que permite realizar el programa, hay unas de mayor importancia que otras, pero esto es relativo, debido a que las necesidades cambian para cada lugar donde se lo implemente. Para el caso de los laboratorios es necesario que se puedan generar órdenes de trabajo de manera automática, así como los calendarios de mantenimiento.

Algo también importante es la opción de poder aumentar el número de estaciones de trabajo de forma ilimitada, ya que, en cualquier momento, se podría integrar al equipo de mantenimiento personal nuevo que requiera también el uso del software.

Este criterio se calificará de la siguiente manera: se dará todo el porcentaje si el programa tiene mucho más características que las necesarias, se dará el 75% si tiene más de las necesarias, y finalmente 50% si tiene poco más de las necesarias.

❖ **Facilidad de uso**

Es deseable que el programa a utilizar no sea demasiado complicado, y que tenga una interfaz amigable, para que no se requiera invertir mucho tiempo en aprenderlo.

❖ **Soporte técnico**

Algunos de los fabricantes de este tipo de programas proveen en su página web, tutoriales, ayuda en línea, e incluso capacitación para quienes compran su producto. Además, también permiten la descarga de un demo que caduca en uno o dos meses, permitiendo así la familiarización con el software.

Para calificar este criterio en cada software, se tendrá en cuenta la cantidad sus servicios de soporte, dando mayor puntuación a los que más servicios ofrezcan.

❖ **Librerías**

Hay programas que tienen ayuda muy útil al momento de elaborar los planes de mantenimiento, como las librerías de planes de mantenimiento, donde se encuentran planes pre elaborados de máquinas y equipos comunes en la industria.

Estas librerías son útiles cuando no existe el manual de una máquina a la que se desea asignar un plan de mantenimiento, ya que brindan información a la mano, y permiten el ahorro de tiempo en investigación por otros medios. Se calificará este criterio con todo el porcentaje, si el software posee librerías de planes de mantenimiento, sino se calificará 0%.

1.4.5. Ponderación de los criterios de selección

A cada criterio se le debe asignar un valor de acuerdo con su importancia relativa. Para esto se utilizará el método de comparación por pares que se describe a continuación:

Comparación por pares

“En este método todos los criterios identificados se evalúan entre sí: todos contra todos, uno a la vez. Al finalizar la comparación los criterios quedarán en el orden de mayor a menor importancia” (Grech, 2001).

La comparación de los criterios se presenta en la tabla 1.1. El conteo de los criterios ganadores se presenta en la tabla 1.2.

Tabla 1. 1 Comparación de criterios de selección

Criterios	¿Cuál es el más importante?	Decisión
Costo de licencia	-Costo de licencia vs. Tipo de prestaciones.	Costo de licencia
	-Costo de licencia vs. Facilidad de uso.	Costo de licencia
	-Costo de licencia vs. Soporte técnico.	Costo de licencia
	-Costo de licencia vs. Librerías.	Costo de licencia
Tipo de prestaciones	-Tipo de prestaciones vs. Facilidad de uso.	Tipo de prestaciones
	-Tipo de prestaciones vs. Soporte técnico.	Soporte técnico
	-Tipo de prestaciones vs. Librerías.	Tipo de prestaciones
Facilidad de uso	-Facilidad de uso vs. Soporte técnico.	Facilidad de uso.
	-Facilidad de uso vs. Librerías.	Facilidad de uso.
Soporte técnico	-Soporte técnico vs. Librerías.	Librerías.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1. 2 Conteo de resultados de tabla 1.1

Criterio	Frecuencia
Costo de licencia	4 veces
Tipo de prestaciones	2 veces
Facilidad de uso	2 veces
Soporte técnico	1 vez
Librerías	1 vez
Total de comparaciones:	10 veces

Fuente: Elaboración propia

En base al conteo se calcula el peso de cada criterio en términos de porcentaje. Tabla 1.3. De acuerdo con estos resultados el criterio más importante relativamente, es el costo de la licencia, esto es para este caso en estudio.

Tabla 1. 3 Peso relativo de los criterios

Criterio	Peso		
Costo de licencia	4/10	40%	0.4
Tipo de prestaciones	2/10	20%	0.2
Facilidad de uso	2/10	20%	0.2
Soporte técnico	1/10	10%	0.1
Librerías	1/10	10%	0.1

Fuente: Elaboración propia

1.4.6. Procedimiento de selección de alternativas

La elección de la mejor alternativa debe realizarse siguiendo un procedimiento. En la sección anterior se asignó un peso a cada criterio, ahora se deberá evaluar el cumplimiento de cada criterio en las alternativas propuestas, con el fin de determinar la mejor entre ellas.

La matriz de selección es un método que permite evaluar alternativas en base a criterios ponderados. A continuación, se describe este método:

Matriz de selección.

En (Grech, 2001), la matriz de selección es definida como: una estructura de información que reúne en forma compacta, todos los datos necesarios para determinar la mejor solución a un problema. El autor presenta una matriz como la mostrada en la Tabla 1.4.

En las filas se ubican las alternativas que están participando, y en las columnas se colocan los criterios que se consideran para la selección. En las celdas de cada criterio se escribe el peso que se determinó con el método de comparación por pares.

Tabla 1. 4 Matriz de selección generalizada

Soluciones	Criterios			Totales
	Criterio 1 Peso=x%	Criterio 2 Peso=y%	Criterio 3 Peso=z%	
Solución A	Nota otorgada= a Puntaje=a*x			Total A
Solución B				Total B
Solución C				Total C

Fuente: (Grech, 2001)

En cada celda donde se intersecan los criterios con las soluciones, se debe escribir una calificación que indique el grado de cumplimiento de dicho criterio, seguidamente se debe multiplicar este valor por el peso del criterio. Finalmente se suman resultados de cada celda correspondiente a la fila de las soluciones y el valor más alto es el ganador (Grech, 2001).

1.4.7. Matriz de selección

El grado de cumplimiento de los criterios, se definirá con valores desde el 0 (mínimo) hasta el 10 (cumplimiento total) para cada alternativa. Cada criterio presenta su peso relativo. Los valores sombreados de amarillo son los que se suman horizontalmente, y sus resultados se ubican en la columna "Total".

Tabla 1. 5 Matriz de selección

	Costo Licencia Peso=0.4	Tipo de Prestaciones Peso=0.2	Facilidad de uso Peso=0.2	Soporte técnico Peso=0.1	Librerías Peso=0.1	Total
MP9	10 4	8 1.6	10 2	10 1	10 1	9.6
GMAOLinx	0 0	9 1.8	8 1.6	10 1	0 0	4.4
Blazar 4.0	10 4	8 1.6	8 1.6	10 1	0 0	8.2

Fuente: Elaboración propia

1.4.8. Alternativa seleccionada

El análisis de la matriz de selección sugiere como mejor alternativa al software MP9. Esto no significa que este software sea mejor que los otros, sino que es el que más cumple con los criterios establecidos para el análisis. Por lo tanto, se elige este programa para implantar el plan de mantenimiento de los laboratorios de la facultad.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA DE DISEÑO

En este capítulo se describen todos los pasos a seguir para la elaboración del plan de mantenimiento de los laboratorios.

2.1. Esquema de las etapas de diseño

En la figura 2.1 se muestra en resumen las actividades abordadas para la realización del trabajo en cuestión.

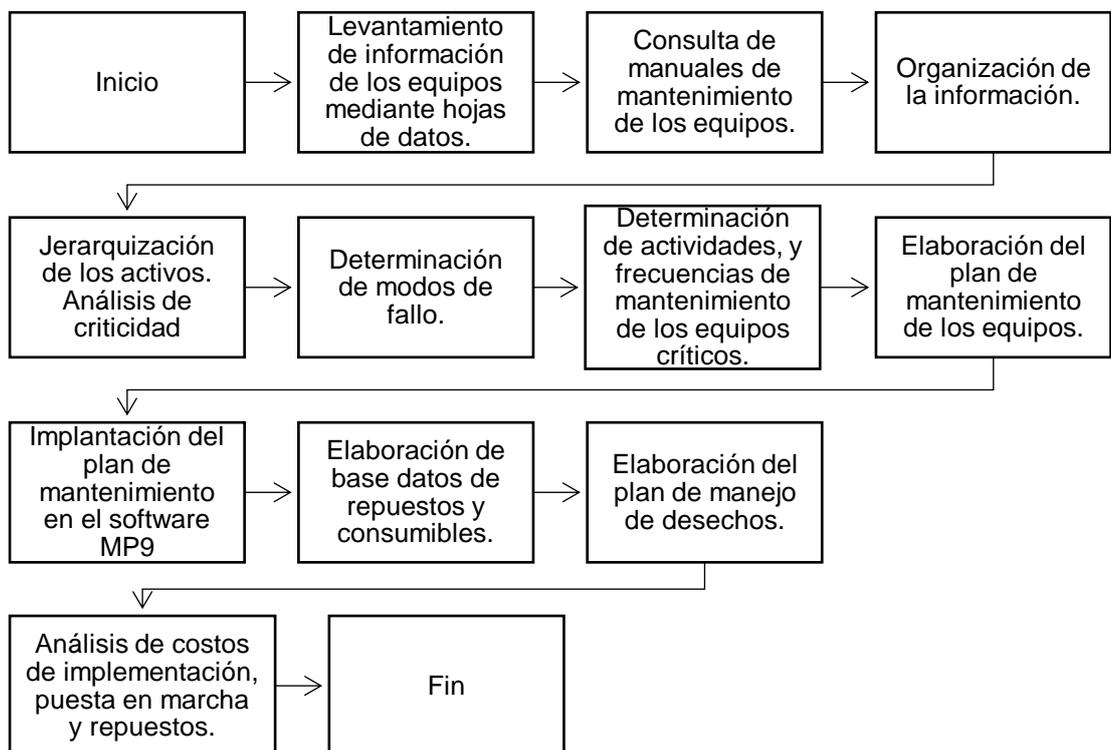


Figura 2. 1 Etapas de diseño

Fuente: Elaboración Propia

2.2. Descripción de la metodología

2.2.1. Levantamiento de información.

Una vez seleccionada la alternativa más conveniente, el siguiente paso es la visita a los laboratorios para el levantamiento de información de los equipos, que es la primera etapa de diseño mostrada en la figura 2.1. Se

debe elaborar una hoja de datos para recolectar la información de cada equipo de los laboratorios. Se debe incluir marca, modelo, tipo de equipo, serie, es decir, todo lo que permita identificar al equipo. Así mismo incluir información histórica de ellos, como año de fabricación o adquisición; si se encuentra en uso o no; si existe su manual de mantenimiento; si se le realiza algún tipo de mantenimiento; si ha presentado averías; si se le han reemplazado algunas partes, etc. El modelo empleado de esta hoja de datos se encuentra en el apéndice.

2.2.2. Consulta de manuales de mantenimiento

Una vez identificados los equipos, se debe consultar sus manuales para verificar las actividades de mantenimiento que se deben de realizar. Es posible que no se tengan estos manuales, o que no se realicen las actividades recomendadas en ellos. Si no se dispone de los manuales, se debe investigar las actividades de mantenimiento de máquinas similares o de sus partes constitutivas, y ajustarlas al equipo en cuestión. Cada actividad se debe describir con su respectiva frecuencia de realización y parte o partes del equipo en la que es ejecutada. No todas estas actividades se incluirán en el plan de mantenimiento, ya que, debido al gran número de equipos, el plan se haría imposible de ejecutar.

2.2.3. Organización de la información

Luego de recopilar la información de los equipos y sus actividades de mantenimiento, se debe elaborar un documento donde se vinculen los datos de identificación con sus actividades de mantenimiento, con el fin de tener toda la información de cada equipo en un solo lugar.

2.2.4. Asignación de códigos y jerarquización

Es conveniente asignar un código de identificación a cada equipo, para que se pueda facilitar su ubicación, como, por ejemplo, que contenga siglas del laboratorio en el que se encuentra, la facultad a la que pertenece, y un número que lo distinga de los demás. Además, se debe

establecer un nivel de importancia relativo para cada equipo dentro de los laboratorios, para conocer sobre qué equipos, realmente vale la pena dedicar tiempo y recursos.

Existen algunas técnicas para jerarquizar activos, en (Márquez, 2012) se presentan algunas de ellas, dos de las cuales se pueden utilizar para este trabajo. La primera es una técnica cualitativa, denominada: Método del flujograma de análisis de criticidad. Este método consiste en la formulación de una serie de preguntas que caracterizan a cada activo, cuyo resultado final corresponde a una categorización de este como (A, B, o C), en los que A y B corresponden a los equipos prioritarios. En la figura 2.2 se puede observar el modelo del flujograma de criticidad. La primera pregunta representada por la letra (E), hace referencia al medio ambiente; la (S) a seguridad, la (Q) a calidad, la (W) a tiempo de trabajo, la (D) al impacto operacional, La (F) a fiabilidad, y la (M) a mantenibilidad.

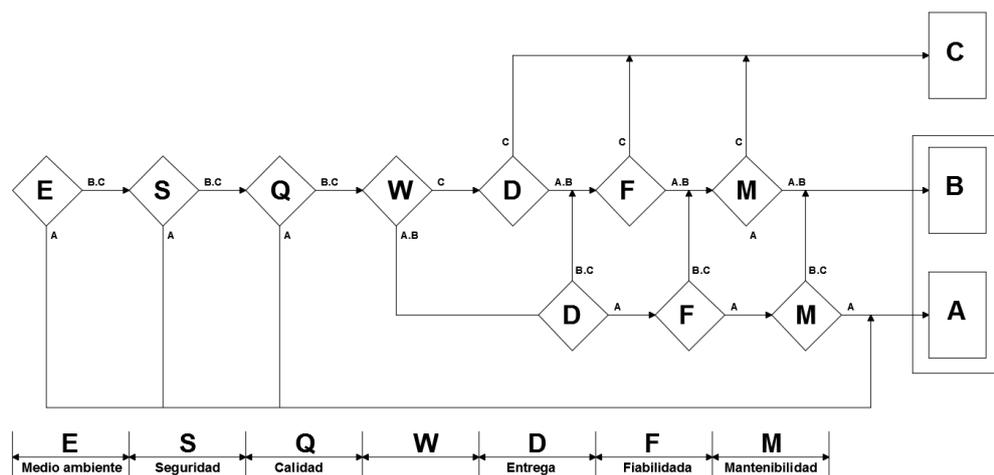


Figura 2. 2 Método del flujograma de análisis de criticidad
Fuente: (Márquez, 2012)

Por ejemplo, referente a la primera pregunta, un equipo se podría considerar de categoría A, si el fallo de éste causa un impacto irreversible al medio ambiente, de manera que sea necesario llamar a las autoridades públicas para que sea controlado. (Márquez, 2012) El

equipo sería de categoría B si el fallo del equipo provocase una contaminación que pudiese gestionarse dentro de la empresa. (Márquez, 2012) Finalmente el equipo sería de categoría C, si su fallo no produjese ningún tipo de contaminación medioambiental. (Márquez, 2012).

El otro método descrito en (Márquez, 2012) es el denominado: Modelo de criticidad semicuantitativo “CTR” por sus siglas en español (criticidad total por riesgo). Este modelo se basa en el concepto del riesgo, entendido como el resultado de multiplicar la frecuencia de un fallo por la severidad del mismo usando la siguiente expresión:

$$CTR = FF \times C \quad \text{ec (2.1)}$$

En esta expresión el término FF, es la frecuencia de fallos y C las consecuencias del fallo. El término C se compone de otros factores, cada uno de ellos toma distintos valores específicos de acuerdo al caso. En fin, el CTR de la ecuación 2.1 toma un valor de FF y otro de C, que se utilizan en una matriz como la de la tabla 2.1, en la que utilizando los valores obtenidos se determina si el equipo es crítico, medianamente crítico o no crítico.

Tabla 2. 1 Matriz de criticidad del modelo CTR.

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
	CONSECUENCIA					

Fuente: (Márquez, 2012)

2.2.5. Determinación de modos de fallo.

Los equipos críticos, en los que se deben prestar mayores esfuerzos, deben analizarse en función de sus fallos. Los modos en que se producen los fallos de los componentes deben estar claramente

identificados. Las tareas de mantenimiento deben estar ligadas a la eliminación o disminución del impacto de los modos de falla.

2.2.6. Actividades y frecuencias de mantenimiento.

Teniendo en cuenta toda la información de las etapas anteriores, se deben elaborar las actividades de mantenimiento que permitan predecir, prevenir o disminuir el impacto de las fallas. Se predicen las fallas con el uso de tecnologías predictivas como análisis de vibración, termografía infrarroja, ultrasonido, etc. (Laboy, 2014). Se previenen las fallas por medio de reemplazo de piezas o inspecciones de rutina. (Laboy, 2014). Para minimizar el impacto de las fallas, se debe disponer de una estrategia planificada para atacar el problema, en muchos casos, una opción útil es tener a disposición un stock de los repuestos más indispensables. (Laboy, 2014).

2.2.7. Ingreso del plan al software MP9.

Una vez que se tiene el plan definido, se debe ingresarlo al software para automatizar la implementación y ejecución del mismo. (Laboy, 2014). Se deben ingresar datos como, fotos del equipo, ubicación, manuales digitales si existen, y toda la información relevante. Así mismo el plan asociado a cada equipo.

2.2.8. Repuestos y consumibles

Se debe elaborar una lista de los repuestos más indispensables para el trabajo de mantenimiento de los equipos críticos, con el fin de reducir los tiempos de parada del mismo. Así también de los consumibles, como lubricantes, filtros, etc. que se necesitan para las rutinas de mantenimiento preventivo.

2.2.9. Manejo de desechos

Durante la ejecución de los trabajos de mantenimiento, se obtienen sustancias contaminantes y no contaminantes a las que se debe designar una disposición final. Es importante elaborar un plan para el

manejo de estos residuos obtenidos, como lubricantes, repuestos cambiados, etc. en base a las normas ambientales del país.

2.2.10. Análisis de Costos

El plan que se diseñó debe ser evaluado en términos económicos para determinar los costos que involucra su puesta en marcha, e implementación. Costos de licencia del software, levantamiento de información, sueldos del personal de mantenimiento, y repuestos, son los mínimos elementos que hay que tener en cuenta en esta etapa. Este análisis debe permitir decidir a los respectivos administradores, si ejecutar o no el plan diseñado, en contraste con su costo-beneficio.

2.3. Diseño del plan de mantenimiento

2.3.1. Jerarquización de activos análisis de criticidad

Una vez que se ha recopilado la información de los equipos de los laboratorios y consultado sus manuales de mantenimiento, se debe evaluar la importancia relativa de cada uno de ellos, para poder tener una idea clara de qué equipos requieren más atención. Este análisis se lo realiza con el método cualitativo, denominado en las secciones anteriores como: método del flujograma de análisis de criticidad. Se presenta una demostración del empleo de este método para algunos equipos relevantes, y se continúa con el resto de equipos de los laboratorios.

Tabla 2. 2 Demostración de jerarquización de activos

Nombre del equipo	E	S	Q	W	D	F	M	Resultado
Caldera de 10 bar Thompson Cochran	C	A	-	-	-	-	-	A
Torno paralelo Rockwell	C	C	B	B	B	C	-	C

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2.2 se presentan dos equipos mostrados como ejemplo del análisis, en la primera columna están los nombres de los equipos y en el

resto de éstas, se ubican las categorías A, B o C como respuesta de cada una de las preguntas respecto a cada ámbito, de acuerdo con el flujograma de la figura 2.2.

Empezando con la caldera Thompson, se evalúa la primera pregunta que se refiere al medio ambiente, (E) acorde a la tabla 2.2. Este equipo será de categoría A, si al momento de producirse un fallo en este, ocasionara un daño irreversible al medio ambiente, de tal manera que sea necesaria la intervención de organismos nacionales de protección del medio ambiente. (Márquez, 2012). Si el daño al ambiente se lo puede manejar internamente, será de categoría B, y finalmente si el fallo no produce ningún tipo de daño ambiental, será de categoría C. Debido a que el fallo no produce ningún daño al ambiente, este equipo queda categorizado como C.

Avanzando con el análisis, se evaluará ahora la seguridad, en conformidad con el gráfico 2.2. Un equipo es de categoría A si al producirse un fallo en este, ocasiona algún accidente que provoque absentismo laboral temporal o permanente en el lugar de trabajo. (Márquez, 2012). Será de categoría B si se producen daños menores a los trabajadores y C, si el fallo no produce consecuencias a la seguridad de los trabajadores. (Márquez, 2012). Así la caldera en cuanto a seguridad queda categorizada como prioritaria, debido al riesgo que corren las personas al producirse un fallo. El gráfico 2.2 lo categoriza finalmente como prioritario, sin necesidad de realizar el resto de evaluaciones.

Otra de las máquinas más relevantes que existen en los laboratorios, son los tornos convencionales. Empezando con el medio ambiente, se lo puede categorizar como C, debido a que algún fallo de este, que pudiera existir, no produce ninguna contaminación. En cuanto a seguridad, se puede decir que esta depende principalmente de las precauciones que

tome el operario del torno, no tanto debido a una falla de la máquina. Así que en seguridad puede quedar categorizado como C.

La calidad (Q), es la siguiente etapa de evaluación del equipo según el gráfico 2.2. (Márquez, 2012) en un ejemplo, asigna la categoría A, a los equipos que producen un perjuicio a la calidad de los productos, que son identificados por los consumidores o clientes, y pueden dañar su imagen como empresa o marca. La categoría B, la asigna a los equipos que producen daños en la calidad, pero estos pueden ser identificados dentro de la fábrica. Y finalmente la categoría C, para los que no producen afectaciones a la calidad en ningún modo. Este torno paralelo puede ser categoría B, ya que los fallos del mismo producen un perjuicio en la calidad de aprendizaje de los estudiantes, que puede gestionarse internamente.

El siguiente punto de análisis es el tiempo de trabajo (W), de acuerdo con el gráfico 2.2. Los equipos con mayor demanda tendrán la categoría A, como, por ejemplo, los que trabajen tres turnos diarios. En tiempo de trabajo el torno puede ser categorizado como B, ya que los estudiantes lo utilizan mucho durante el semestre para realizar sus prácticas y sus proyectos de curso, pero no son equipos que trabajen 24 horas al día.

La entrega (D), (Márquez, 2012), la relaciona con el impacto operacional que produce el fallo de un equipo en la fábrica. Este fallo puede producir la parada de toda la fábrica, una línea de producción o no producir ninguna, para las que correspondería categorías de A, B y C respectivamente. En este tema se debe hacer una adaptación a la situación de un laboratorio. Los equipos que se utilizan para las prácticas de estudiantes de varias materias serán de categoría A, los que se usan solo por estudiantes de una materia, de categoría B, y los que se usan muy poco solo para una materia, tendrán categoría C. El torno paralelo bajo análisis será de categoría B, debido a que se utiliza actualmente solo para una materia.

La figura 2.2 nos posiciona ahora en el criterio de la fiabilidad (F) de la línea central. Ésta se refiere a frecuencia de los fallos que se presentan en un equipo cuando no se ha realizado el mantenimiento adecuadamente. Para frecuencias de fallos de menos de 5 horas, entre 5 y 10 horas, y superiores a 10 horas se establecen categorías de A, B y C respectivamente.

Siendo esto así se puede categorizar al torno paralelo como C, ya que, si se le realiza una mala intervención de mantenimiento, el fallo ocurrirá en más de 10 horas. Esto puede ocurrir por ejemplo en la lubricación, ya que, si no se la realiza, ocurrirá el desgaste a largo plazo de los elementos, como engranes o guías. Finalmente, el torno bajo análisis queda categorizado como C, siguiendo el flujograma de la figura 2.2.

Análisis de riesgos

Para evaluar el riesgo a la seguridad de cada equipo de los laboratorios, se debe hacer un análisis apropiado de riesgo. Esto ayudará a categorizar cada equipo en la sección de riesgo del método de jerarquización que se está utilizando. Para este análisis se utilizará una guía para evaluación del riesgo basada en el Reglamento de los Servicios de Prevención del Real Decreto 39/1997.

En los siguientes párrafos se describen las etapas del modelo presentado en la guía mencionada anteriormente, denominado como evaluación general de riesgo, donde básicamente se identifican los peligros, se estima y el riesgo y finalmente se lo valora.

Identificación de peligros

Para identificar los peligros se sugiere tener en cuenta las siguientes preguntas: ¿Hay una fuente de daño?; ¿Qué o quién puede ser dañado?; ¿Cómo puede ocurrir el daño? En la tabla 2.3 se presenta una tabla donde se clasifican algunos daños por categorías.

Tabla 2. 3 Análisis de los peligros

Mecánico	Aplastamiento, Cizallamiento, corte, enganche, Atrapamiento, impacto, punzonamiento, fricción-abrasión, proyección de fluido.
Eléctrico	Cortocircuitos, choque eléctrico.
Térmico	Quemaduras, Incendios.
Ruido-vibraciones	
Radiaciones	
Higiénico	
Explosión o incendio	
Biológico	

Fuente: (Gonzálbez P. B., 1998).

Luego de identificar los peligros, se debe estimar el riesgo, determinando la severidad del daño, y la probabilidad de que ocurra el daño. La severidad del daño se relaciona con la naturaleza de este, aquí se pueden agrupar tres categorías que se presentan en la tabla 2.4. Por otro lado, la probabilidad de que ocurra el daño se puede establecer siguiendo este criterio: Será de probabilidad alta, si el daño ocurre siempre o casi siempre. Será de probabilidad media si el daño ocurre en algunas ocasiones, y probabilidad baja, si el daño ocurre raras veces. Finalmente, en la tabla 2.5 se presenta un método sencillo para determinar el nivel de riesgo en base a su probabilidad estimada de ocurrencia y sus consecuencias.

Tabla 2. 4 Daños clasificados por su gravedad.

Niveles	Ejemplos
Ligeramente dañino	Cortes y magulladuras pequeñas, irritación de los ojos, incomfort.
Dañino	Laceraciones, quemaduras, conmociones, torceduras importantes, fracturas menores, sordera, dermatitis, asma, enfermedad que conduce a una incapacidad menor.
Extremadamente dañino	Fracturas mayores, amputaciones, lesiones múltiples, intoxicaciones, lesiones fatales.

Fuente: (Gonzálbez, 1998).

Tabla 2. 5 Niveles de riesgo

		Consecuencias		
		Ligeramente dañino	Dañino	Extremadamente dañino
Probabilidad	Baja	Riesgo trivial	Riesgo tolerable	Riesgo moderado
	Media	Riesgo tolerable	Riesgo moderado	Riesgo importante
	Alta	Riesgo moderado	Riesgo importante	Riesgo intolerable

Fuente: (González, 1998)

Cuando se evalúe cada equipo, se asignará categoría C, a los que representen riesgo trivial y tolerable, serán de categoría B, los de riesgo moderado y finalmente de categoría C, los de riesgo importante e intolerable. Cabe mencionar que cuando se evalúa la probabilidad de que ocurran los daños, se lo hace, en base a los que se producen por el fallo de los equipos y máquinas, y no a los que se dan por mala ejecución de procedimientos, u otros.

Laboratorio de Termofluidos

En la tabla 2.6 se presenta la categorización de los equipos que conforman la planta de vapor de este laboratorio. Dentro de este conjunto de equipos el que destaca como prioritario es la caldera, debido a que en éste se identifica el peligro de explosión, de la tabla 2.3, el cual podría producir daños que se ubican en el tercer nivel de la tabla 2.4 (extremadamente dañinos) y con una probabilidad alta, ya que no se maneja un plan de mantenimiento adecuado, posicionándolo en un nivel de riesgo intolerable.

En el resto de equipos no se verifican peligros potenciales para la seguridad ni para el medio ambiente puesto que no manejan sustancias tóxicas que lo contaminen en ningún grado, por lo tanto, llevan la categoría C en la columna (S).

Tabla 2. 6 Jerarquización de componentes de planta de vapor

Laboratorio de Termofluidos									
Código	Nombre	E	S	Q	W	D	F	M	Prioridad
2971	Caldera de 10 Bar	C	A	-	-	-	-	-	A
2964	Súper calentador con panel de control y motor	C	C	B	C	A	C	-	C
2977	Turbina de vapor de 10 KW de 1 etapa LAVAL	C	C	B	C	A	C	-	C
2976	Condensador de superficie	C	C	B	C	A	C	-	C
2981	Torre de enfriamiento I compuesto con motor	C	C	B	C	A	C	-	C
2967	Planta de tratamiento de agua con medidor	C	C	B	C	A	C	-	C
2975	Intercambiador De calor con medidores de flujo	C	C	B	C	A	C	-	C

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la calidad (Q), a todos se le asigna la categoría B porque si llegase a ocurrir la indisponibilidad o fallo de uno de ellos, el perjuicio a la calidad de la formación de los estudiantes puede gestionarse internamente, como por ejemplo posponer el día de la práctica hasta que se repare el equipo.

En el tiempo de trabajo (W) se asigna C a todos los equipos, porque el tiempo máximo que podrían trabajar es ocho horas, puesto que su uso es en un laboratorio. En la entrega (D) todos llevan categoría A, porque esta caldera se utiliza por estudiantes de algunas materias, y su fallo o indisponibilidad, podría afectar los horarios establecidos de las prácticas de todos ellos.

En la columna de la fiabilidad (F) de la tabla 2.6, se les asigna C, a todos los equipos, puesto que no existen sus registros de fallos que permitan determinar mediante ecuaciones el valor de la fiabilidad.

Como máquinas térmicas, se tienen los motores de combustión interna acoplados a bancos dinamométricos y una turbina a gas, que se presentan en la tabla 2.7. En la columna del medio ambiente, todos se categorizan como B, puesto que arrojan gases de combustión tóxicos, que pueden afectar el ambiente interno del laboratorio.

La evaluación de la seguridad se determina por los peligros identificados en estos equipos, acorde a la tabla 2.3, en los que se identifica el peligro de explosión o incendio, puesto que estos motores utilizan combustible y tienen también componentes eléctricos que pudieran, por fallos, generar chispas para iniciarlo. Los daños que pudieran ocasionar son quemaduras, pero la probabilidad de que ocurra es baja, en cuanto al equipo se refiere, ya que se diseñan para que operen con seguridad, disminuyendo los riesgos. Así en la columna de seguridad, todos llevan categoría B, porque corresponden a un riesgo moderado de la tabla 2.5.

Tabla 2. 7 Jerarquización de máquinas térmicas

Laboratorio de Termofluidos									
Código	Nombre	E	S	Q	W	D	F	M	Prioridad
3064	Motor de 4 tiempos a Diesel	B	B	B	C	C	-	-	C
2996	Motor de cuatro tiempos, 1 cilindro-gasolina y con presión variable	B	B	B	C	C	-	-	C
3051	Banco de prueba con motor de 4 cilindros a gasolina	B	B	B	C	C	-	-	C
2991	Banco de prueba de motores de combustión interna	B	B	B	C	C	-	-	C
	Motor Diesel (ARMPFIELD)	B	B	B	C	C	-	-	C
	Turbina a gas (GILKES)	B	B	B	C	C	-	-	C

Fuente: Elaboración propia

La columna de la calidad (Q), toda tiene categoría B, puesto que la indisponibilidad de estos equipos ocasiona perjuicios a la calidad de la educación, que pueden gestionarse internamente. El tiempo de trabajo, se establece como categoría C en todos, puesto que trabajan menos de ocho horas al día. Finalmente, en la entrega (D), todos llevan categoría C, puesto de la indisponibilidad de estos por algún fallo, afecta a las prácticas de estudiantes de solo una asignatura.

En la tabla 2.8 se muestran los equipos de refrigeración y aire acondicionado. En lo que respecta al medio ambiente, se puede observar que tienen categoría B, ya que, al producirse un fallo, por ejemplo, fuga de refrigerante, este puede ser tóxico, pero esto puede gestionarse en el interior del laboratorio. La parte de seguridad se categoriza con C puesto que no se evidencian ningún tipo de peligros de los que se muestran en la tabla 2.3. Como los equipos anteriores la calidad lleva la categoría B, puesto que, si se produce el fallo de estos equipos, perjudica la calidad de formación académica de los estudiantes, pero esto se puede manejar internamente.

Tabla 2. 8 Jerarquización de bombas de calor

Laboratorio de Termofluidos									
Código	Nombre	E	S	Q	W	D	F	M	Prioridad
3090	Equipo de aire acondicionado didáctico	B	C	B	C	B	C	-	C
110519	Unidad de recirculación de aire acondicionado	B	C	B	C	B	C	-	B
110520	Unidad de refrigeración por compresión	B	C	B	C	B	C	-	B

Fuente: Elaboración propia

El tiempo de trabajo de estos equipos es de menos de ocho horas al día, por lo tanto, llevan C en la columna (W), y en la columna (D) llevan la B, ya que se utilizan por estudiantes de más de una materia. Como dos equipos de estos son nuevos, no tienen registros de fallos por esto, su

fiabilidad será de categoría C, incluyendo el primero de la tabla, por el mismo motivo.

Los bancos hidráulicos presentados en la tabla 2.9 son todos de categoría C. No se evidencia ningún tipo de peligros de los que se muestran en la tabla 2.3, por lo tanto, en la columna de seguridad, todos llevan C. Ninguno de ellos maneja sustancias tóxicas que afecten al medio ambiente, por ello llevan C en la columna (E). En la calidad (Q), tiempo de trabajo (W) y entrega (D), llevan la categoría B, C, B respectivamente por el mismo motivo explicado en los párrafos anteriores, incluyendo la categoría C en fiabilidad, por la ausencia de registros de fallos que permitan realizar su cálculo.

Tabla 2. 9 Jerarquización de bancos hidráulicos

Laboratorio de Termofluidos									
Código	Nombre	E	S	Q	W	D	F	M	Prioridad
03701	Banco de bomba	C	C	B	C	B	C	-	C
03705	Banco óleo Hidráulico	C	C	B	C	B	C	-	C
02688	Circuito Hidráulico	C	C	B	C	B	C	-	C
02698	Turbina Pelton	C	C	B	C	B	C	-	C
02691	Equipo de Flujo Laminar y Turbulento	C	C	B	C	B	C	-	C
40480	Unidad de demostración de bomba centrífuga	C	C	B	C	B	C	-	C
40481	Unidad de demostración de bomba de émbolo	C	C	B	C	B	C	-	C
144997	Medición de fricción de fluido	C	C	B	C	B	C	-	C
02692	Banco Hidráulico	C	C	B	C	B	C	-	C
02697	Turbina Francis	C	C	B	C	B	C	-	C

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2.10 se presentan tres túneles de viento y un túnel de humo. En estos equipos se evidencia como peligro el ruido. Se sabe que de estos equipos el que más ruido genera es el túnel supersónico llegando

a 85dB (Cordero, 2012) superando el orden de 80 dB soportable según la OMS, sin embargo se reduce su intensidad cuando se utilizan los protectores de oído, además este ruido no se debe a fallos del equipo, sino a su funcionamiento mismo, por lo se categoriza como C en la columna de seguridad. No se utilizan en estos equipos sustancias contaminantes por lo que se categorizan como C en la columna (E).

Tabla 2. 10 Jerarquización de túneles didácticos

Laboratorio de Termofluidos									
Código	Nombre	E	S	Q	W	D	F	M	Prioridad
02699	Túnel de humo	C	C	B	C	C	-	-	C
02689	Túnel subsónico de Viento	C	C	B	C	B	C	-	C
02690	Túnel supersónico de Viento	C	C	B	C	B	C	-	C
105724	Túnel de viento	C	C	B	C	B	C	-	C

Fuente: Elaboración propia

La calidad, el tiempo de trabajo y la entrega llevan la misma categoría que los equipos anteriores, B, C y B respectivamente a excepción del túnel de humo que lleva C en la entrega, debido a que está por repararse y no se han planificado prácticas con este equipo.

Tabla 2. 11 Jerarquización de compresores y ventiladores

Laboratorio de Termofluidos									
Código	Nombre	E	S	Q	W	D	F	M	Prioridad
03082	Compresor de aire de 1ra. etapa	C	C	B	C	C	-	-	C
03083	Compresor de aire de 2da. etapa	C	C	B	C	C	-	-	C
40482	Unidad de demostración de ventilador centrífugo	C	C	B	C	C	-	-	C
40483	Unidad de demostración de ventilador axial	C	C	B	C	C	-	-	C

Fuente: Elaboración propia

Los compresores que se agrupan en la tabla 2.11 son equipos de poco riesgo para la seguridad, ya que no se identifica ningún tipo de peligro de los que presenta la tabla 2.3, y tampoco se utilizan en ellos sustancias que contaminen el medio ambiente, aunque manejan aire a presión, este no se encuentra a elevadas presiones y temperaturas. Las unidades de demostración de esta tabla 2.11, tampoco representan peligros si no se les realiza mantenimiento.

Laboratorio de máquinas y herramientas

En este laboratorio se encuentran diversos tipos de máquina para el mecanizado, como tornos, fresadoras, taladradoras, etc. Estas máquinas son muy utilizadas por los estudiantes para sus prácticas y proyectos, todas están constituidas por componentes en su mayoría mecánicos.

Tabla 2. 12 Jerarquización de máquinas de torneado

Laboratorio de Máquinas y Herramientas									
Código	Nombre	E	S	Q	W	D	F	M	Prioridad
11685	Torno # 1	C	C	B	C	C	-	-	C
11687	Torno # 2	C	C	B	C	C	-	-	C
11686	Torno # 3	C	C	B	C	C	-	-	C
11689	Torno # 4	C	C	B	C	C	-	-	C
11688	Torno # 5	C	C	B	C	C	-	-	C
11690	Torno	C	C	B	C	C	-	-	C
11691	Torno	C	C	B	C	C	-	-	C

Fuente: Elaboración propia

La tabla 2.12 agrupa los tornos del laboratorio, éstos son importantes para la calidad de la educación de los estudiantes de ingeniería, por ello tienen categoría B en esta columna, ya que como se ha dicho en párrafos anteriores, su indisponibilidad por fallos afecta, pero se puede gestionar internamente. Así mismo se utilizan mucho durante el

semestre, por lo que se atribuye la categoría C en la columna (W), porque no llegan a trabajar las 8 horas diarias, pero se utilizan mucho más que las de otros laboratorios.

Los peligros que se identifican son de tipo mecánico según la tabla 2.3, que podrían ocasionar daños como cortes, magulladuras, fracturas menores y mayores. La probabilidad de que ocurran estos daños es baja, porque no han existido casos de accidentes que se hayan producido por motivos de fallo del equipo sino en los procedimientos, por tal motivo los riesgos son tolerables de acuerdo con la tabla 2.5, que equivalen a la categoría C dentro de la columna de seguridad (S).

Para jerarquizar las fresadoras que se presentan en la tabla 2.13 se sigue el mismo concepto que para los tornos. Todas quedan finalmente con prioridad C.

Tabla 2. 13 Jerarquización de máquinas de fresado

Laboratorio de Máquinas y Herramientas									
Código	Nombre	E	S	Q	W	D	F	M	Prioridad
11692	Fresadora 4	C	C	B	C	C	-	-	C
11693	Fresadora 1	C	C	B	C	C	-	-	C
11694	Fresadora	C	C	B	C	C	-	-	C

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. 14 Jerarquización de máquinas de taladrado

Laboratorio de Máquinas y herramientas									
Código	Nombre	E	S	Q	W	D	F	M	Prioridad
11698	Taladro de pedestal	C	C	B	C	C	-	-	C
S/N	Taladro de pedestal	C	C	B	C	C	-	-	C
S/N	Taladro de pedestal	C	C	B	C	C	-	-	C

Fuente: Elaboración propia

Los taladros de la tabla 2.14 son equipos que requieren de procedimientos seguros para su operación, pero sus fallos propios no

son los que ocasionan los accidentes, por tal motivo son también de categoría C. El resto de criterios se manejan con las mismas categorías que los tornos.

En la tabla 2.15 se encuentran las máquinas para procesos abrasivos, que requieren también de procedimientos seguros para su operación, pero sus fallos tampoco perjudican la seguridad ni el medio ambiente a primera instancia. El resto de criterios tienen las mismas categorías que el torno.

Tabla 2. 15 Jerarquización de máquinas para procesos abrasivos

Laboratorio de Máquinas y Herramientas									
Código	Nombre	E	S	Q	W	D	F	M	Prioridad
11697	Rectificadora Plana	C	C	B	C	C	-	-	C
21977	Esmeril de pedestal	C	C	B	C	C	-	-	C
21977	Esmeril de pedestal	C	C	B	C	C	-	-	C
21520	Esmeril de pedestal	C	C	B	C	C	-	-	C
21977	Esmeril de pedestal de 18"	C	C	B	C	C	-	-	C

Fuente: Elaboración propia

Otras máquinas importantes, pero menos utilizadas que las anteriores son las de la tabla 2.16, que tienen en común el movimiento alternativo que efectúan durante su funcionamiento. Los criterios tienen las mismas categorías que las establecidas para el torno y los equipos que se presentan posteriormente a este.

Finalmente se agrupan equipos de varios tipos en la tabla 2.17, como soldadoras, que son para trabajo pesado, y otros para procesos de mecanizado, además un compresor de aire. El compresor de aire se maneja con las mismas categorías que el presentado en la tabla 2.11. En el trabajo con la soldadora se identifican peligros de quemaduras, choque eléctrico, así como daño a la vista, pero una vez más estos

peligros se evitan con un adecuado uso de estos y no son generados por motivos de fallos, por esto en seguridad son categoría C. Los otros criterios se mantienen con las mismas categorías explicadas anteriormente.

Tabla 2. 16 Jerarquización de máquinas con movimiento alternativo

Laboratorio de Máquinas y Herramientas									
Código	Nombre	E	S	Q	W	D	F	M	Prioridad
S/N	Sierra Alternativa	C	C	B	C	C	-	-	C
S/N	Sierra Alternativa	C	C	B	C	C	-	-	C
18022	Limadora	C	C	B	C	C	-	-	C
11703	Limadora	C	C	B	C	C	-	-	C
11704	Limadora	C	C	B	C	C	-	-	C
11701	Limadora	C	C	B	C	C	-	-	C

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. 17 Jerarquización de equipos varios

Laboratorio de Máquinas y Herramientas									
Código	Nombre	E	S	Q	W	D	F	M	Prioridad
	14 máquinas para soldar	C	C	B	C	C	-	-	C
11695	Pantógrafo	C	C	B	C	C	-	-	C
11794	Amortajador	C	C	B	C	C	-	-	C
11793	Abrochadora	C	C	B	C	C	-	-	C
19581	Compresor de Aire	C	C	C	C	C	-	-	C

Fuente: Elaboración propia

Laboratorio de investigación y desarrollo

Este laboratorio es utilizado para la carrera de ingeniería en alimentos, en este se encuentran varios equipos para análisis y preparación de muestras, mostrándose los más importantes, y que requieren algún tipo de mantenimiento.

En la tabla 2.18 se agrupan las centrifugas, que son equipos con componentes mecánicos y eléctricos; de tamaño relativamente pequeño, pero de gran utilidad para las actividades que se realizan en este laboratorio. No existen peligros que se identifiquen de los mostrados en la tabla 2.3, lo que les asigna categoría C en cuanto a el criterio de seguridad. No utilizan sustancias peligrosas para el medio ambiente, lo que las categoriza como C en este criterio. La calidad (Q) y el tiempo de trabajo (W) se mantienen con las categorías que ya se explicaron. La entrega (D), se categoriza como A debido a que estos equipos se utilizan para prácticas de más de una materia. Para la fiabilidad siempre es el mismo caso, ausencia de registro de fallos que permitan su cálculo, o no se han presentado fallos porque el equipo es nuevo.

Tabla 2. 18 Equipos para centrifugado

Laboratorio de Investigación y Desarrollo									
Código	Nombre	E	S	Q	W	D	F	M	Prioridad
40944	Centrífuga	C	C	B	C	A	C	-	C
100269	Centrífuga	C	C	B	C	A	C	-	C
	Centrífuga (THERMO)	C	C	B	C	A	C	-	C

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. 19 Equipos para calentamiento

Laboratorio de Investigación y desarrollo									
Código	Nombre	E	S	Q	W	D	F	M	Prioridad
	Baño María con agitación (Thermo)	C	C	B	C	A	C	-	C
36008	Estufa Universal	C	C	B	C	A	C	-	C
	Estufa digital (Mettler)	C	C	B	C	A	C	-	C

Fuente: Elaboración propia

Los equipos que se muestran en la tabla 2.19 sirven básicamente para calentamiento. Los peligros que se identifican de acuerdo con la tabla 2.3 son quemaduras; con nivel medio de acuerdo con la tabla 2.4; y con una probabilidad baja debido a que los equipos se diseñan con un alto

grado de seguridad, esto ubica el riesgo como tolerable según la a tabla 2.5, que equivale a la categoría C en el criterio de seguridad. No se manejan sustancias contaminantes, por lo que son de categoría C en el criterio de medio ambiente. El resto de criterios se manejan con las mismas categorías que la centrífuga.

En la tabla 2.20 se agrupan equipos especiales para análisis. No se identifica ningún peligro potencial de los mostrados en la tabla 2.3, por lo tanto, se asigna categoría C en el criterio de seguridad, tampoco utilizan sustancias que pudiesen contaminar el ambiente, por ello la categoría C, y el resto de criterios se maneja igual que los otros equipos de este laboratorio.

Tabla 2. 20 Jerarquización de equipos para análisis y otros

Laboratorio de Investigación y Desarrollo									
Código	Nombre	E	S	Q	W	D	F	M	Prioridad
62825	Texturómetro	C	C	B	C	A	C	-	C
106498	Biotek	C	C	B	C	A	C	-	C
147345	Sorbona	C	C	B	C	A	C	-	C
108568	Enfriador doméstico	C	C	B	C	A	C	-	C

Fuente: Elaboración propia

Laboratorio de Microbiología de alimentos

En la tabla 2.21 se muestran los equipos de relevancia de este laboratorio para incluirlos en el plan de mantenimiento. Dos de ellos, son equipos que trabajan con vapor y a presión, en estos se identifican peligros de explosión y quemaduras de acuerdo con la tabla 2.3, pudiendo producir daños de nivel medio de acuerdo con la tabla 2.4, con una probabilidad baja debido a su diseño seguro, lo que define su riesgo como tolerable, equivalente a categoría C. Ninguno de ellos utiliza sustancias perjudiciales para el medio ambiente, por ello son de categoría C en este criterio. El resto de criterios se manejan con las mismas categorías que el laboratorio visto anteriormente.

Tabla 2. 21 Equipos del laboratorio de Microbiología

Laboratorio de Microbiología de Alimentos									
Código	Nombre	E	S	Q	W	D	F	M	Prioridad
43277	Autoclave STURDY	C	C	B	C	A	C	-	C
110552	Autoclave	C	C	B	C	A	C	-	C
	Incubadora	C	C	B	C	A	C	-	C
64319	Incubadora NEOGEN	C	C	B	C	A	C	-	C
39176	Incubadora BINDER	C	C	B	C	A	C	-	C
64518	Incubadora NEOGEN	C	C	B	C	A	C	-	C
38588	Refrigerador Durex	C	C	B	C	A	C	-	C
42434	Esterilizador	C	C	B	C	A	C	-	C
42200	Refrigerador Durex	C	C	B	C	A	C	-	C
41234	Refrigerador Indurama	C	C	B	C	A	C	-	C

Fuente: Elaboración propia

Laboratorio de operaciones unitarias

En la tabla 2.22 se tiene un equipo con categoría A, que es el caldero de este laboratorio. El vapor de este caldero se utiliza en algunos equipos dentro de este, por ello, y por ser un equipo que trabaja a altas presiones, adquiere esta categoría en el criterio de seguridad, bajo el mismo análisis de riesgo del caldero del laboratorio de termofluidos. Hay otros equipos como las marmitas que trabajan con el vapor provisto por el caldero, solo que al tener una válvula para eliminar el condensado, el vapor no se encuentra presurizado dentro de este equipo. Por ello son de prioridad C.

Otro equipo que utiliza vapor es el evaporador de película ascendente, los peligros detectados son las quemaduras por el vapor de acuerdo con la tabla 2.3, con probabilidad baja debido a su diseño seguro, categorizándose como equipo con nivel de riesgo tolerable equivalente a C. El resto de criterios se manejan de la misma forma tratada en tablas anteriores.

Tabla 2. 22 Equipos para calentamiento o que utilizan vapor

Laboratorio de Operaciones Unitarias									
Código	Nombre	E	S	Q	W	D	F	M	Prioridad
106820	Horno de gas	C	C	B	C	A	C	-	C
104745	Marmita	C	C	B	C	A	C	-	C
	Marmita (RIOINOX)	C	C	B	C	A	C	-	C
40485	Evaporador de película ascendente	C	C	B	C	A	C	-	C
IAL-LM-001	Incubadora	C	C	B	C	A	C	-	C
	Caldero TERMPAK	C	A	-	-	-	-	-	A

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2.23 se muestran equipos con muchos componentes mecánicos, como la despulpadora de frutas y el molino, que son de categoría C, ya que no se identifican peligros de daños y tampoco utilizan nada que contamine el medio ambiente que atribuyan categorías B o C. Los otros equipos ya se han presentado en tablas anteriores.

Tabla 2. 23 Molinos y refrigeradores

Laboratorio de Operaciones Unitarias									
Código	Nombre	E	S	Q	W	D	F	M	Prioridad
104742	Molino	C	C	B	C	A	C	-	C
108504	Despulpadora de frutas	C	C	B	C	A	C	-	C
108505	Molino de alimentos HARVESTER	C	C	B	C	A	C	-	C
57590	Amasadora	C	C	B	C	A	C	-	C
	Congelador Whirlpool	C	C	B	C	A	C	-	C
42961	Refrigerador	C	C	B	C	A	C	-	C

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2.24, se agrupan tres equipos que son más sofisticados que los anteriores, en estos no se identifican peligros acordes a la tabla 2.3, no se identifican contaminantes para el medio ambiente, por ello también quedan categorizados como C.

Tabla 2. 24 Equipos especiales

Laboratorio de Operaciones Unitarias									
Código	Nombre	E	S	Q	W	D	F	M	Prioridad
59669	Milk Analyzer	C	C	B	C	A	C	-	C
	Selladora de vacío HENKELMAN	C	C	B	C	A	C	-	C
91789	Spray Dryer	C	C	B	C	A	C	-	C

Fuente: Elaboración propia

Laboratorio CAMPRO

En este laboratorio se encuentran diferentes máquinas para el mecanizado, del tipo convencionales, CNC, y de última tecnología como impresoras 3D. En la tabla 2.25 se agrupan las de tipo convencional, y la cortadora de hilo que es una máquina más sofisticada. Todas éstas son de prioridad C, ya que son máquinas del mismo tipo que las del laboratorio de máquinas y herramientas.

Tabla 2. 25 Equipos para mecanizado tipo convencional

Laboratorio CAMPRO									
Código	Nombre	E	S	Q	W	D	F	M	Prioridad
67218	Fresadora Universal	C	C	B	C	C	-	-	C
67414	Taladro de Pedestal	C	C	B	C	C	-	-	C
67219	Torno paralelo	C	C	B	C	C	-	-	C
	Cortadora de hilo	C	C	B	C	C	-	-	C

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2.26 se agrupan las máquinas que son un poco más sofisticadas, con más componentes electrónicos y de gran importancia para la educación de los estudiantes. Se les asigna prioridad C, tomando en consideración que no representan riesgos potenciales para la seguridad ni el ambiente. La calidad (Q), el tiempo de trabajo (W), y la entrega (D), tienen las mismas categorías que los equipos del laboratorio

de máquinas y herramientas B, C, C respectivamente, porque son equipos para el mismo fin, la mecanización.

Tabla 2. 26 Equipos para mecanizado tipo CNC

Laboratorio CAMPRO									
Código	Nombre	E	S	Q	W	D	F	M	Prioridad
67216	Fresadora CNC	C	C	B	C	C	-	-	C
67415	Torno CNC	C	C	B	C	C	-	-	C
105228	Fresadora CNC	C	C	B	C	C	-	-	C
105226	Fresadora CNC	C	C	B	C	C	-	-	C
105227	Fresadora CNC	C	C	B	C	C	-	-	C

Fuente: Elaboración propia

Por último, la tabla 2.27 muestra las impresoras 3D y el escáner 3D de este laboratorio. Estos equipos son sumamente importantes para los servicios que presta el laboratorio, y al ser sofisticados, es recomendable seguir todas las actividades de mantenimiento de su manual. Las categorías de los criterios son las mismas que para los otros equipos de este laboratorio.

Tabla 2. 27 Equipos para impresión y escaneo 3D

Laboratorio CAMPRO									
Código	Nombre	E	S	Q	W	D	F	M	Prioridad
64569	Impresora 3D cerámicos	C	C	B	C	C	-	-	C
107929	Impresora 3D	C	C	B	C	C	-	-	C
91861	Escáner 3D	C	C	B	C	C	-	-	C

Fuente: Elaboración propia

Laboratorio de Bromatología

Este es otro laboratorio de la carrera de ingeniería en alimentos, aquí hay equipos para análisis, medición, y preparación. En la tabla 2.28 se muestran dos equipos para análisis, en ellos no se evidencian peligros de los que se muestran en la tabla 2.3, por lo tanto, se les asigna categoría C en seguridad, así también esta categoría en el criterio de

medio ambiente, puesto que no utiliza nada contaminante en estos. El resto de criterios se categorizan como el resto de los equipos de los laboratorios de alimentos.

Tabla 2. 28 Equipos para análisis

Laboratorio de Bromatología									
Código	Nombre	E	S	Q	W	D	F	M	Prioridad
IAL-LM-004	Espectrofotómetro	C	C	B	C	A	C	-	C
91795	Microscopio biológico	C	C	B	C	A	C	-	C

Fuente: Elaboración propia

Los equipos de la tabla 2.29 son para medición de algún tipo; no representan peligros por fallos; los demás criterios tienen las mismas categorías que los de la tabla 2.28, quedando finalmente con prioridad C.

Tabla 2. 29 Equipos para medición

Laboratorio de Bromatología									
Código	Nombre	E	S	Q	W	D	F	M	Prioridad
57439	Viscosímetro	C	C	B	C	A	C	-	C
	Termobalanza (humidímetro)	C	C	B	C	A	C	-	C
100268	PhMetro	C	C	B	C	A	C	-	C
	Balanza Analítica	C	C	B	C	A	C	-	C

Fuente: Elaboración propia

Equipos de diferentes tipos se agrupan en la tabla 2.30, algunos como estufas y baño maría, vistos en otros laboratorios y con prioridad C. Los demás equipos también son de prioridad C ya que el riesgo, que ha sido el criterio fundamental que maneja la prioridad del equipo, tiene también categoría C, por no identificarse ninguno de los peligros de los que se muestran en la tabla 2.3 ni sustancias que contaminen el ambiente.

Tabla 2. 30 Equipos para preparación de muestras y otros

Laboratorio de Bromatología									
Código	Nombre	E	S	Q	W	D	F	M	Prioridad
91766	Baño María AQUA BATH	C	C	B	C	A	C	-	C
91766	Estufa universal	C	C	B	C	A	C	-	C
56960	Destilador de agua	C	C	B	C	A	C	-	C
91826	Unidad destiladora KJELDAHL	C	C	B	C	A	C	-	C
	Soxhlet	C	C	B	C	A	C	-	C
63477	Bomba de vacío	C	C	B	C	A	C	-	C
91823	Unidad digestora KJELDAHL	C	C	B	C	A	C	-	C
91824	Extractor de humos ácidos	C	C	B	C	A	C	-	C
57013	Mufla	C	C	B	C	A	C	-	C
	Homogeneizador IKA	C	C	B	C	A	C	-	C
56956	Refrigeradora Whirlpool	C	C	C	A	A	C	-	C

Fuente: Elaboración propia

2.3.2. Análisis de modos y efectos de fallos

El objetivo que busca este análisis es determinar todas las formas posibles en que un activo puede fallar dentro de un contexto operacional específico, e identificar las consecuencias de estos fallos en función de tres criterios: seguridad humana, seguridad del medio ambiente e impacto en la producción. (Márquez, 2012). El procedimiento que debe seguirse para realizar el FMEA se lo presenta en la figura 2.3.



Figura 2. 3 Procedimiento para realizar el FMEA

Fuente: (Márquez, 2012)

En este trabajo se realizará el FMEA a los equipos que hayan sido categorizados como prioritarios, es decir, que sean de categoría A, luego de realizar el proceso de jerarquización. Estos equipos fueron dos calderos, el del laboratorio de termofluidos y el de Operaciones Unitarias. En los siguientes párrafos se realiza el desarrollo de los pasos indicados en la figura 2.3.

Definición de funciones

Las funciones de los equipos pueden ser primarias, secundarias, de protección, de control, etc. (Márquez, 2012). La función primaria de un caldero es generar vapor, pero al mismo tiempo debe poder contenerlo en su interior, la cual sería una función secundaria, o servir de bancada de accesorios adicionales del equipo. Este equipo además debe impedir cualquier tipo de incidentes relacionados con la actividad que realiza, por ejemplo, su diseño y sistema de seguridad deben impedir la explosión debida a las altas presiones.

Para poder definir las funciones del caldero con mayor nivel de detalle, se presentarán sus partes principales y se explicará cómo es su funcionamiento, tal como lo indica su manual.

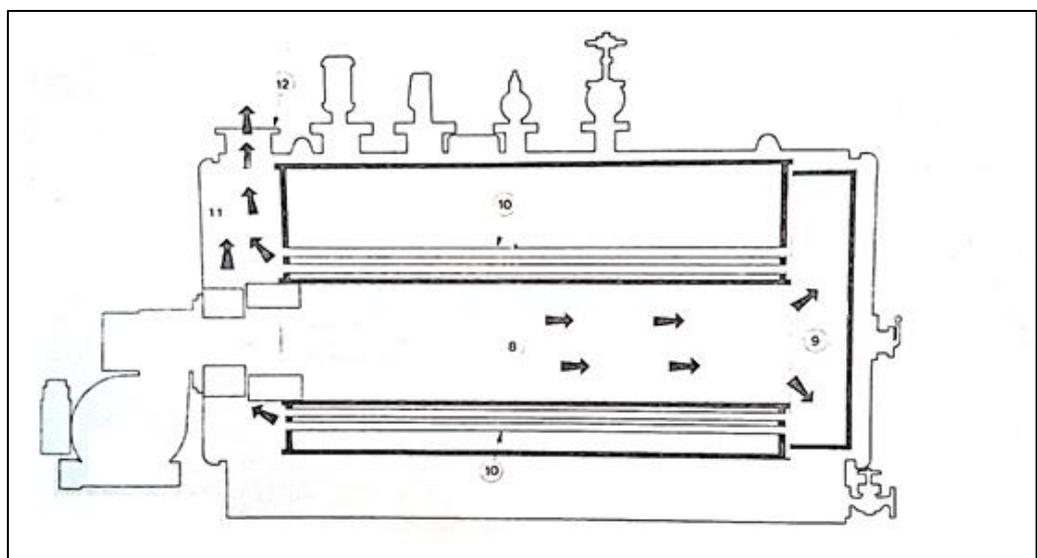


Figura 2. 4 Lateral del horno de la caldera

Fuente: (Márquez, 2012)

La caldera Thompson Cochran Minipac 3 es un sistema de dos pasos que está diseñada para producir 1000 lb/h de vapor a una presión de 10 bar. La superficie exterior de su casco está recubierta por un material aislante de alta calidad. El funcionamiento de este equipo se describirá en los siguientes párrafos utilizando las figuras 2.4 y 2.5.

El agua es suministrada a una presión adecuada por medio de una bomba de alimentación operada eléctricamente (1) en la figura 2.5. El agua entra a la caldera pasando por la válvula de retención (2). Cuando el agua alcanza el nivel normal, lo cual puede verse en el tubo de nivel (3), el interruptor del control doble de mando (4) corta el suministro eléctrico al motor de la bomba. El quemador (5) está empernado en la puerta frontal del caldero (6) y está diseñado para atomizar el combustible de tal forma que pueda ser quemado con máxima eficiencia. El aire necesario para la combustión es provisto por un ventilador de tiro forzado (7).

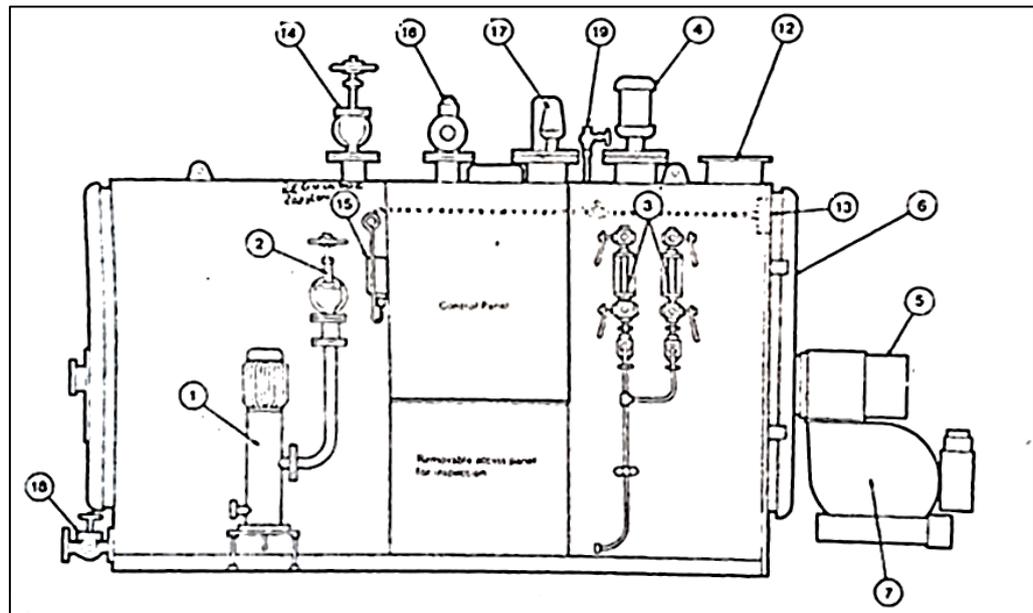


Figura 2. 5 Accesorios de la caldera

Fuente: (Márquez, 2012)

El horno (8) en la figura 2.4, recibe calor por radiación de la llama. Los productos de la combustión pasan a la cámara de combustión (9) y luego a través del banco de tubos (10) donde se transfiere el calor de los gases por convección. Los gases entran al tambor de la caldera (11) y son descargados por la chimenea (12) la cual se halla en la parte superior del tambor frontal de la caldera.

La presión del vapor en la caldera se lee por medio de un medidor de presión (13) en la figura 2.5. Cuando la presión ha alcanzado su valor alto, la válvula de parada (14) se abre y permite el paso del vapor hacia el proceso de trabajo.

Al mismo tiempo que vapor sale de la caldera, el nivel del agua caerá aproximadamente 12.5mm (0.5") debajo del nivel normal. El interruptor de doble control arranca la bomba de alimentación permitiendo alcanzar el nivel normal de trabajo del agua de alimentación.

Si la presión de la caldera se eleva al máximo requerido, el regulador de presión (15) en la figura 2.5 apaga el quemador. Inversamente, cuando la presión cae hasta un valor preestablecido, el regulador de presión arranca el quemador. Si el regulador de presión llegara a fallar en la parada del quemador permitiendo a la presión elevarse más allá de la presión de diseño, una válvula de seguridad (16) se abre permitiendo el escape de vapor y evitando así el aumento de la presión.

Si por alguna razón no se suministra agua a la caldera y el nivel de ésta descende aproximadamente 50mm (2") bajo el nivel normal, el doble control (4) parará el quemador y hará sonar la alarma.

Cuando el nivel de agua es nuevamente normalizado, la alarma dejará de sonar y el quemador arrancará automáticamente. Sin embargo, si el nivel del agua descende aproximadamente 76mm (3") bajo el nivel normal, el control de sobre descenso (17) parará el quemador y sonará

la alarma. El quemador no arrancará hasta que el nivel del agua haya sido recuperado y el interruptor manualmente regresado a su posición.

La válvula de purga (18) es operada manualmente con objeto de remover el lodo y controlar la proporción de sólidos disueltos en el agua de la caldera. Esta válvula es usada también para el drenaje durante la inspección anual.

La válvula de prueba (19) es suministrada junto con el medidor de presión. Esta válvula es usada para extraer el aire de la caldera durante el proceso de alimentación de agua inicial y para descargar el vacío producido por un prolongado período de parada.

En la tabla 2.31 se presentan las funciones a nivel de detalle de componentes de la caldera bajo análisis.

Tabla 2. 31 Funciones de los componentes de la caldera

Componentes	Funciones
Bomba de alimentación	Ingresar agua tratada hacia la caldera
Válvula de retención	Impedir retroceso del agua desde la caldera
Interruptor de control de doble mando	Encender y apagar la bomba; apagar el quemador manejándose por niveles de agua; sonar la alarma
Quemador	Atomizar el combustible
Ventilador de tiro forzado	Ingresar aire al horno de la caldera
Banco de tubos	Permitir la transferencia de calor desde los gases hacia el agua del interior.
Válvula de parada	Permitir la salida del vapor cuando se alcanza la presión de trabajo
Regulador de presión	Apagar y encender el quemador manejándose por medidas de presión
Válvula de seguridad	Permitir la salida del vapor cuando falla el regulador de presión
Control de sobre descenso	Apagar el quemador y sonar la alarma

Fuente: Elaboración propia

Determinación de fallos funcionales

Los fallos funcionales se definen como una ocurrencia no previsible, que no permite que el activo alcance el funcionamiento esperado en el contexto operacional en el cual se desempeña (Moubray, 1991). Estos fallos pueden incidir sobre una función de forma parcial o total (Márquez, 2012). En la tabla 2.32 se presentan las funciones de los componentes de la caldera y sus fallos funcionales respectivos.

Tabla 2. 32 Fallos funcionales de los componentes de la caldera

Funciones	Fallos funcionales
Ingresar agua hacia la caldera	No ser capaz de bombear agua
Impedir el retroceso del agua de la caldera hacia la bomba	No impedir el retroceso de agua
Encender y apagar la bomba; apagar el quemador manejándose por niveles de agua; sonar la alarma	No encender ni apagar la bomba en el nivel requerido; No suena la alarma; No apaga el quemador en el nivel establecido.
Atomizar el combustible	No ser capaz de atomizar el combustible.
Ingresar aire al horno de la caldera	No ser capaz de ingresar aire al horno.
Permitir la transferencia de calor desde los gases hacia el agua del interior.	No ser capaz de transferir calor
Permitir la salida del vapor cuando se alcanza la presión de trabajo	No ser capaz de permitir la salida del vapor a la presión de trabajo;
Apagar y encender el quemador manejándose por medidas de presión	No ser capaz de encender ni de apagar el quemador.
Permitir la salida del vapor cuando falla el regulador de presión	No permitir la salida de vapor cuando falla el regulador de presión.
Apagar el quemador y sonar la alarma	No ser capaz de apagar el quemador; no sonar la alarma.

Fuente: Elaboración propia

Identificación de modos de fallos

Los modos de fallos se definen según la metodología del RCM como las causas físicas que provocan los fallos funcionales totales o parciales (Moubray, 1991). Las actividades de mantenimiento de cualquier tipo, según la metodología del RCM, deben estar orientadas a atacar cada

modo de fallo específico (Márquez, 2012). Para realizar el proceso de este análisis, (Márquez, 2012) sugiere que el grupo de trabajo busque información consultando: listas genéricas de modos de fallos; registros e historiales técnicos existentes del activo; fabricantes y vendedores de activos; otros usuarios del mismo activo; personal de operación y/o mantenimiento que haya tenido una larga asociación con el activo. En las siguientes tablas desde la 2.33 hasta la 2.42 se presentan los modos de fallo para cada fallo funcional de los accesorios de la caldera.

Tabla 2. 33 Modos de fallo de la bomba de alimentación

Fallo funcional	Modos de fallo
No ser capaz de bombear agua	-Motor quemado -Eje del impulsor fracturado -Impulsor atrancado -Línea de succión totalmente bloqueada -Otros

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2. 34 Modos de fallo de la válvula de retención

Fallo funcional	Modos de fallo
No impedir el retroceso de agua	Discos o asientos en mal estado

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2. 35 Modos de fallo del interruptor de control de doble mando

Fallo funcional	Modos de fallo
No encender ni apagar la bomba en el nivel requerido; No suena la alarma; No apaga el quemador en el nivel establecido.	-Contactos sucios -Flotadores dañados

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2. 36 Modos de fallo del quemador

Fallo funcional	Modos de fallo
No ser capaz de atomizar el combustible.	-Conductos interiores ó toberas obstruidos -Válvula magnética dañada -Otros

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2. 37 Modos de fallo del ventilador de tiro forzado

Fallo funcional	Modos de fallo
No ser capaz de ingresar aire al horno.	-Motor quemado -Rotor atascado -Otros

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2. 38 Modo de fallos del banco de tubos

Fallo funcional	Modos de fallo
No ser capaz de transferir calor	-Hollín endurecido adherido a las paredes internas de los tubos. -Incrustaciones en las paredes externas de los tubos.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2. 39 Modos de fallo de la válvula de parada

Fallo funcional	Modos de fallo
No ser capaz de permitir la salida del vapor a la presión de trabajo;	Discos o asientos en mal estado

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2. 40 Modos de fallo del regulador de presión

Fallo funcional	Modos de fallo
No ser capaz de encender ni de apagar el quemador.	-Micro interruptor de acción rápida dañado -Mecanismo interno averiado

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2. 41 Modos de fallo de la válvula de seguridad

Fallo funcional	Modos de fallo
No permitir la salida de vapor cuando falla el regulador de presión.	-Mugre o incrustaciones que inducen fugas -La válvula está pegada

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2. 42 Modos de fallo del control de sobre descenso

Fallo funcional	Modos de fallo
No ser capaz de apagar el quemador; no sonar la alarma.	-Flotador dañado -Contactos sucios

Fuente: Elaboración Propia

Definición de las consecuencias de los modos de fallo

Cada uno de los modos de fallo identificados tiene consecuencias de diversos tipos que deben estar claramente definidas, ya que éstas son las que ayudan a decidir cuál es la mejor actividad de mantenimiento a realizar sobre los activos. (Márquez, 2012) Presenta un diagrama que ayuda a determinar las consecuencias de los modos de fallo.

Se utilizará este diagrama presentado en la figura 2.7 para determinar las consecuencias de los modos de fallo de la caldera.

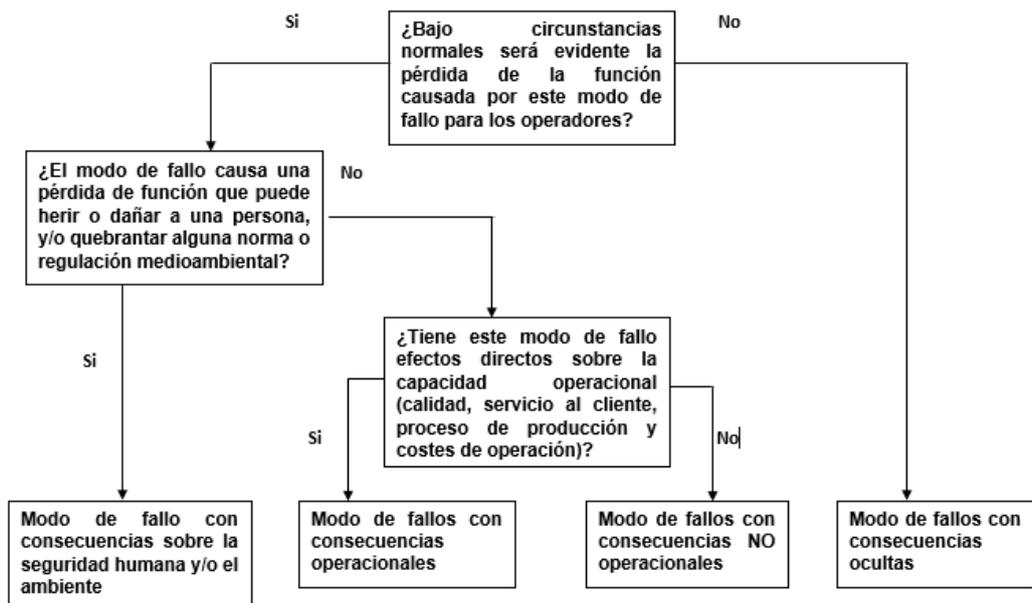


Figura 2. 6 Diagrama para determinar consecuencias de modos de fallo
Fuente: (Márquez, 2012)

En la tabla 2.43 se presentan los equipos auxiliares de la caldera que presentan modos de fallo con consecuencias sobre la seguridad, ya que las pérdidas de sus funciones sí son evidentes y pueden dañar o herir a las personas, puesto que forman parte del control de presión interno de la caldera de manera que ésta no exceda la presión de diseño y pueda ocasionar accidentes.

Tabla 2. 43 Equipos de modos de fallo con consecuencias a la seguridad

Interruptor de control de doble mando
Regulador de presión
Válvula de seguridad
Control de sobre descenso

Fuente: Elaboración Propia

Los equipos y accesorios de la tabla 2.44 son aquellos cuyos modos de fallo tienen consecuencias de índole operacional, ya que sus fallos funcionales son evidentes e impiden al equipo (caldera) cumplir su función, que es generar vapor a su presión de trabajo.

Tabla 2. 44 Equipos con modos de fallo con consecuencias operacionales

Bomba de alimentación
Válvula de retención
Quemador
Ventilador de tiro forzado
Banco de tubos
Válvula de parada

Fuente: Elaboración Propia

2.3.3. Selección de actividades de mantenimiento

Ahora que ya se tienen jerarquizados los equipos por medio del análisis de criticidad, e identificados los modos de fallos y sus consecuencias de los más críticos, o de categoría A, se deben seleccionar actividades de mantenimiento que ayuden a prevenir la aparición de estos modos de fallo. Así mismo, se deben aplicar políticas de mantenimiento al resto de equipos con categoría B o C. Algunas actividades de mantenimiento son provistas en los manuales de los equipos, otras en normas, y otras deben ser determinadas por el equipo de trabajo que esté realizando el plan de mantenimiento.

En esta sección se presenta las actividades de mantenimiento que atacan los modos de fallos de los equipos auxiliares del caldero al que

se le hizo el FMEA. Dichas actividades son obtenidas del propio manual del caldero y de recomendaciones encontradas en (Elonka, 1988).

Cada vez que se opera la caldera

1. Pruebe las condiciones del agua de alimentación y su tratamiento
2. Limpie el visor de llama de la puerta posterior, si estuviese sucio.
3. Limpie la fotocélula

Cada semana

Chequee la operación correcta de los controles de nivel de agua de la caldera de la siguiente manera:

1. Con el generador encendido y la caldera a baja presión, abra la válvula de purga y deje que el nivel del agua descienda hasta que la bomba de alimentación comience a trabajar.
2. Deje que el nivel de agua continúe descendiendo hasta que se produzca la alarma de “LOW WATER”; el quemador se apagará y la bombilla de “LOW WATER” se iluminará. Desconecte la alarma.
3. Deje que el nivel del agua siga descendiendo hasta que se produzca la alarma “EXTRA LOW WATER”
4. Cierre la válvula de purga de la caldera y deje que el nivel de agua retorne al normal.
5. Accione el interruptor “RESET” y el quemador deberá empezar a trabajar.
6. Si los controles no operan como se ha indicado, la falla debe ser establecida y corregida, es peligroso ignorarlas.

Cada mes

1. Limpie el filtro de la bomba de alimentación
2. Limpie cuidadosamente los electrodos y el plato de vórtices del quemador.
3. Chequee visualmente las condiciones de las toberas de atomización: cualquier limpieza o servicio de estas toberas deberá ser hecho siguiendo las indicaciones del manual de la caldera.

4. Chequee la operación del disyuntor de la fotocélula.

Anualmente

1. Limpie los tubos de la caldera.
2. Chequee las condiciones de los sellos de asbesto de las puertas.

Disposiciones para largos períodos sin operación

Si la caldera no va a ser puesta en marcha en un período de un mes o más, debe procederse de la siguiente manera:

1. Ponga fuera de servicio la caldera y déjela así durante la noche.
2. Al día siguiente, limpie los tubos, chapa de los tubos, etc.

Inspección Anual

En (Elonka, 1988) se menciona que el código ASME recomienda que todas las calderas que operan a más de 15 psi reciban cuanto menos, una inspección anual interna y externa. Esta inspección debe ser realizada por un perito, sin importar si se le realiza o no el mantenimiento recomendado en el manual.

Los planes de los equipos con categoría C que requieren mantenimiento, se pueden observar en anexos, dichas actividades se ajustan a las especificaciones de sus manuales o a las recomendadas por otras fuentes.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

En este capítulo se presentarán los resultados, costos y manejos de desechos, para los laboratorios que se han analizado en los capítulos anteriores.

3.1. Costos.

3.1.1. Análisis de costos

Las ejecuciones de las actividades de mantenimiento de estos laboratorios representan costos para la institución, como los salarios de los técnicos, costos de materiales, repuestos, licencia del software, servicios exteriores, etc. Este análisis presenta los costos de las diferentes etapas del proyecto, como se presenta en la Figura 3.1.

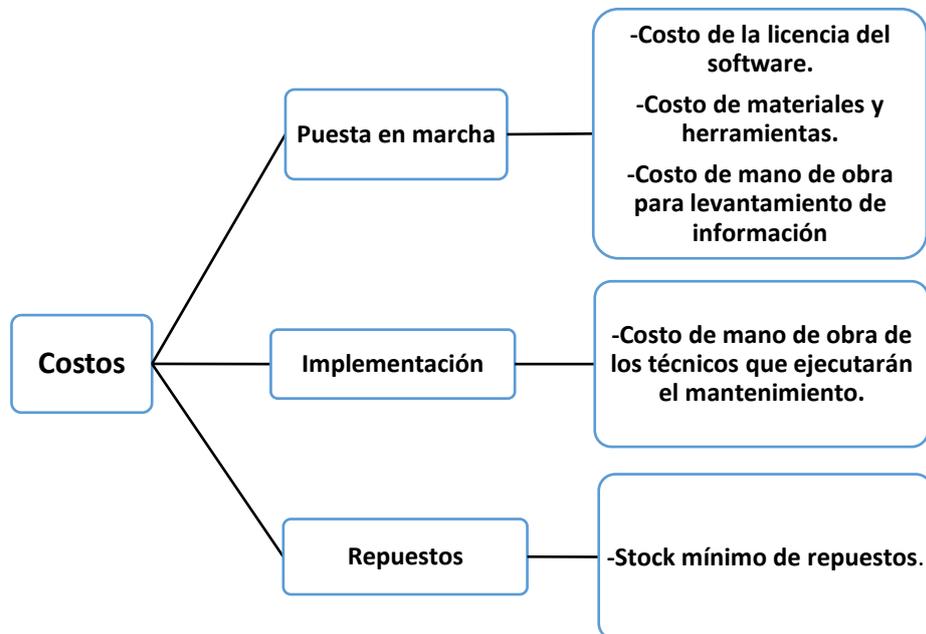


Figura 3. 1 Clasificación de Costos.

Fuente: elaboración propia

3.1.2. Costos de puesta en marcha

a) Costo de la licencia del software.

El software utilizado con dos estaciones de trabajo tiene un costo para este país de \$4000 (Internacional, 2017).

b) Costo de materiales y herramientas.

Los materiales o suministros son aquellos que se utilizan para realizar los trabajos, como: pintura, desoxidantes, tuercas, focos, pernos, fusibles, alambres, accesorios para tubos, aceites, grasas, empaquetadura, planchas metálicas, láminas metálicas, etc. (Vargas, 2011). En la Tabla 3.1 se presentan los materiales necesarios para los trabajos de mantenimiento en los laboratorios.

Tabla 3. 1 Costo promedio de varios materiales.

Material	Cantidad	Costo aproximado (dólares)
Aceite SAE 10W/30	1 gal	22.00
Aceite SAE 40 para motor de dos tiempos	1 litro	4.08
Aceite SAE 30	1 litro	4.45
Aceite de ricino	½ litro	4.04
Grasa	1 libra	7.00
Aceite 15W/40	1 gal	18.00
Mascarillas	1	2.25
Gafas protectoras	1	2.60
Guaípe	1 libra	3.82
Paños de microfibra	3 unidades	3.00
Diesel	1 gal	1.50
Gasolina super	1 gal	2.15
Detergente líquido	20 litros	35

Fuente: Elaboración propia

Las herramientas son los instrumentos necesarios para ejecutar las actividades, ya sea de limpieza, cuando se requiere desarmar o acceder a algún lugar alto o de alguna reparación menor. En la Tabla 3.2 se presentan las herramientas que se necesitarán para las labores de mantenimiento junto con sus costos.

Tabla 3. 2 Costo promedio de varias herramientas.

Herramienta	Cantidad	Costo promedio (dólares)
Juego de destornilladores	1	33.00
Caja de herramientas	1	87.53
Juego de llaves fijas	1	125.00
Juego de llaves hexagonales	1	5.79
Juego de llaves torx	1	4.09
Juego de dados	1	98.90
Juego de galgas (calibrador)	1	3.89
Escalera de aluminio (1.52m)	1	68.79
Juego de dados pequeño	1	159
Cautín	1	10.00
Brocha de 6"	1	11.00
Brocha de 3"	1	4.31
Brocha de 1 ½"	1	2.18
Espátula de 3"	1	2.39
Cepillo de alambre	1	2.49
	Suma:	618.36

Fuente: Elaboración propia

c) Costos de mano de obra para levantamiento de información.

El tiempo estimado para el levantamiento de información, en este caso particular, que involucra la toma de datos de los equipos; consulta de los manuales de mantenimiento; e ingreso al sistema GMAO, es de aproximadamente un mes, trabajando dos personas en jornadas normales.

El valor mínimo de este costo es de dos salarios básicos, que corresponden a \$750.

Tabla 3. 3 Costo estimado de materiales/año.

Material	Cantidad estimada por año	Costo aproximado (dólares)
Aceite SAE 10W/30	2 gal	44.00
Aceite SAE 40 para motor de dos tiempos	2 litros	8.16
Aceite SAE 30	3 litros	13.35
Aceite de ricino	1 litro	8.08
Grasa	3 libras	21.00
Aceite 15W/40	1 gal	18.00
Mascarillas	4	9.00
Gafas protectoras	2	5.20
Guaípe	5 libra	19.10
Paños de microfibra	10 unidades	10.00
Diesel	20 gal	30.00
Gasolina super	10 gal	21.50
Detergente líquido	20 litros	35
	Suma:	242.39

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, para estimar los costos de puesta en marcha se debe estimar la cantidad de materiales que se consumirán para el mantenimiento dentro de un periodo, que en este caso será de 1 año. Este se muestra en la Tabla 3.3 y los costos totales de implementación en la Tabla 3.4.

Tabla 3. 4 Costos totales de puesta en marcha.

Descripción	Costo
Adquisición de la licencia del GMAO para dos estaciones de trabajo	\$4000,00
Levantamiento de información	\$750,00
Materiales	\$243,00
Herramientas	\$620,00
Total:	\$5.613,00

Fuente: Elaboración propia

3.1.3. Costos de implementación

a) Costo de mano de obra de los técnicos que ejecutarán el mantenimiento.

Por simplicidad se considera el sueldo anual de dos técnicos quienes sean los encargados de realizar las actividades de mantenimiento preventivo de todos los laboratorios, con un sueldo base mensual de \$600,00 cada uno. Al año cada uno representa un costo de (726.5×12) \$8.718,00 incluido el décimo tercero y décimo cuarto sueldos. Esto representa un total de \$17.433,00 sin incluir los costos de mantenimiento correctivo en los que sea necesario contratar el servicio técnico de las empresas proveedoras de los equipos.

3.1.4. Costos de repuestos

a) Stock mínimo de repuestos

El stock de repuestos que se debe tener depende de muchos factores, como; su facilidad de adquisición; efecto sobre la productividad y la producción; redundancia del equipo de producción y sus componentes, disponibilidad de planos o de lista de partes; localización de la industria, etc. (Vargas, 2011).

Tabla 3. 5 Stock mínimo de repuestos para calderas.

Dispositivos y accesorios de calderas	Designación	Cantidad de repuestos	Costo aproximado
Indicadores de nivel	Juego de tubos cilíndricos de vidrio, incluyendo empaques.	2	\$550.00
Hogar de calderas (Diésel o Fuel Oil)	Juego de quemadores completos	1	\$150.00
Tubos para calderas, recalentadores y economizadores	Tapones para cada tipo de tubo	10	\$10.00

Fuente: Elaboración propia

La existencia de un stock de repuestos para los trabajos de mantenimiento es algo que deben analizar cuidadosamente los administradores, sin embargo, aquí se presentan unas tablas (3.5-3.6) de stock mínimo de repuestos para algunas de las máquinas que existen en los laboratorios, obtenidas de (Vargas, 2011) y su costo aproximado.

Tabla 3. 6 Stock mínimo de repuestos para motores Diésel de 4 tiempos.

Partes del motor	Designación	Cantidad de repuestos	Costo aproximado
Válvulas	Válvulas de escape completas con cajas, asientos, resortes y demás accesorios para un cilindro.	2 juegos	\$80.00
	Válvulas de admisión completas, con cajas, asientos, resortes y demás accesorio para un cilindro.	1 juego	\$80.00
Inyectores	Inyectores completos con todos sus accesorios	¼ juego	\$150.00
Cojinete de biela	Cojinetes o casquillos (chapas) de cabeza de biela completos con sus suplementos, tuercas y pernos para un cilindro.	1 juego	\$100.00
	Pasador (Pin) de pistón con casquillo o bocín, para un cilindro.	1 juego	\$30.00
Pistones	Pistones	25% del total	\$1000.00

Fuente: Elaboración propia

3.2. Manejo de Desechos.

Plan de Manejo de Desechos

Un plan de manejo de desechos es el que permite el manejo y reducción de la producción de desechos sólidos, líquidos de cualquier ambiente que pueden ser hogares, establecimientos, laboratorios, etc. El plan de manejo se lo realiza con la finalidad de poder minimizar riesgos ambientales que están vinculados con la generación de desechos, y cuidar la salud de las personas, comunidad y trabajadores.

Para poder implementar un sistema de manejo de residuos, nos debemos basar en las técnicas ambientalmente aprobadas, las cuales se basan en las 4R, que significa reducción, reciclaje y reutilización. Gracias al plan se obtiene un total de desechos, y gracias a esto se puede reciclar los desechos reciclables y darles un final a los desechos inservibles, evitando la contaminación por la quema de residuos, vertido en fuentes de agua, quebradas, etc.

Los pasos para poder lograrlo son:

- Implementación de un plan de manejo de desechos
- Aplicación de la normatividad para la clasificación y manipulación de desechos.
- Capacitación del personal para que concienticen la clasificación de desechos e implementen el plan de manejo de desechos.
- Reducción de la generación de desechos basándose en la técnica 4R.
- Disposición adecuada.
- Seguimiento y supervisión.

Para la realización del plan de desechos se realiza la clasificación de desechos y para esto es necesaria la tabla que se presenta a continuación.

Tabla 3. 7. Inventario de residuos peligrosos y no peligrosos.

Clase	Descripción	Características
Reciclables	Papel, cartón, plástico, madera.	Materiales no inertes y/o biodegradables, no contaminados
	Restos metálicos	Materiales no inertes o biodegradables, no contaminados, reciclables
Comunes	Residuos de alimentos	Materiales no inertes y/o biodegradables, no contaminados
Peligrosos	Medicinas caducadas	Materiales tóxicos y/o peligrosos, contaminados con químicos
	Hospitalarios	Materiales tóxicos y/o peligrosos, contaminados con químicos
	Combustibles, y lubricantes de operación de máquinas herramientas, vehículos	Materiales tóxicos y/o peligrosos, contaminados con químicos
	Aceites Dieléctricos	Materiales tóxicos y/o peligrosos, contaminados con químicos
Especiales	CPU	Material tóxico y/o peligroso
	Cartuchos, tóner	
	Cintas	

Fuente: Elaboración propia

Para cada desecho que se obtiene en los laboratorios, se debe de clasificar como se especifica en la tabla anterior, pero antes a esto, primero se debe realizar una tabla de frecuencia de generación de residuos y desechos peligrosos y no peligrosos.

En la tabla 3.8 se puede notar qué tipo de desecho es el que se obtiene en un lapso determinado, o se obtiene con mayor frecuencia, y con esto se puede aplicar acciones correctivas para el reciclaje del mismo si es que son desechos reciclables, y si no, se aplicarían acciones correctivas para darle fin a desechos no reciclables.

Tabla 3. 8. Frecuencia de generación de residuos.

Tipo de desechos	Anual	Mensual	Semanal	Diario
Papel y cartón				√
Restos de papel higiénico, empaques de alimentos, botellas plásticas				√
Medicinas caducadas y no medicinas		√		
Metales como conductores de diferente calibre y bobinas en instrumentos de		√		
Combustibles, aceites usados, aceites dieléctricos		√		
Herramientas menores	√			
Bandas, poleas	√			
Focos para alumbrado		√		
Tóneres de impresoras laser		√		

Fuente: Elaboración propia

Estrategias para manejo de desechos

La aplicación de la estrategia del plan de manejo de desechos que se generan en todas las etapas consiste en la ejecución de los siguientes pasos:

1. Clasificación de la fuente.
2. Cuantificación y disposición de desechos.
3. Compromisos.

El primer ítem aclara que los desechos deben ser separados de acuerdo con su clase según la tabla 3.7, y así nunca mezclarlos porque esto causarían daños graves como incendios por ende se está atentando a la salud del personal, entonces para esto se debe proveer de apropiados y clasificados por colores, como por ejemplo se tiene:

- Color verde para residuo tipo orgánico.
- Color azul para residuos reciclables, como son papeles, cartones, botellas, plásticos etc.
- Color gris o blanco para desechos no reciclables tales como papeles de baño.
- Color rojo para desechos especiales o peligrosos.

El segundo ítem habla sobre la cuantificación de los tipos de desechos mediante los registros de los mismos, los cuales serán archivados en bodega y con copia en la supervisión de seguridad, salud ocupacional y ambiental, una vez que los desechos se han entregado, esto está más enfocado a los desechos reciclables.

El tercer ítem habla sobre el compromiso que debe de realizar todo el personal que se encuentra trabajando en el área, sobre el adecuado manejo de desechos, pero esto se logra capacitándolos en el correcto manejo de los mismos.

Medidas preventivas para la generación de desechos

La aplicación del registro es con la finalidad de obtener una hoja de ruta del desecho, lo cual nos ayudaría con un seguimiento, desde su origen (desde donde se producen los desechos), hasta su disposición final cualquiera que esta sea. El resultado que se quiere obtener con la aplicación periódica de registros es verificar si el tratamiento que se le da al desecho es el adecuado.

Reducción o minimización de volumen de desechos

Se reducirá el volumen de generación con la finalidad de reducir la cantidad de desechos que serán tratados, transportados y colocados en los rellenos sanitarios y lugares adecuados, lo cual significa tener beneficios ambientales y por ende se reduce el riesgo de contaminación al medio ambiente.

Esta reducción se logrará mediante la minimización, la reutilización y el reciclaje, para lo cual se debe realizar capacitaciones para poder concientizar de forma apropiada al personal sobre los planes de desechos.

Minimización

La minimización consiste en la reducción del volumen de desechos en el punto donde se los produce. Esto se logra con el uso de recipientes de mayor capacidad en lugar de envases pequeños, la disminución debe convertirse en una práctica diaria y debe estar acompañada de la capacitación respectiva.

Reutilización

El proceso de reutilización de residuos en las diferentes actividades que cumple la Institución no es posible. Debido a la calidad del producto luego de su uso no puede ser nuevamente colocado en operación (obsolescencia técnica), por daños severos que han afectado a las características técnicas de los componentes, o porque una vez que han sido utilizados los equipos las envolturas o materiales de embalaje se convierten en desechos. El cumplimiento de las siguientes medidas asegurará un control y manejo adecuado de los desechos:

- a) Aceites lubricantes e hidráulicos usados (no contaminados) pueden usarse en los talleres como lubricantes de tipo industrial para máquinas y herramientas que no requieran lubricación final.
- b) Los envases plásticos contaminados, se destruirán una vez terminado su uso para evitar su reutilización por la población.
- c) Papel, cartón y plástico, si poseen características para el reciclado, deberán ser acopiados en un centro de almacenamiento temporal de desechos y posteriormente enviados a un gestor de desechos.
- d) Residuos metálicos (cobre, aluminio, hierro) u otras piezas y herramientas que se generan y se utilizan en el mantenimiento, si no son posibles de reutilizar en otros trabajos, se acopiarán en los sitios

especificados o en las bodegas de la Institución, luego de lo cual deberá enviarse a los gestores autorizados.

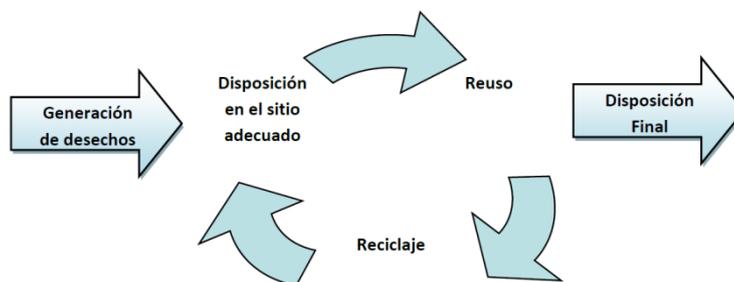


Figura 3. 2. Cadena de gestión de desechos no peligrosos.

Fuente: elaboración propia

La reutilización, así como el reciclaje generan una cadena de gestión de los residuos que en este caso particular estaría compuesta de los aspectos que se muestra en la figura anterior.

Desechos peligrosos

Una vez que se obtengan los desechos peligrosos, y clasificados los que son sólidos y líquidos, y que consten en el listado emitido por la autoridad ambiental, y que en el Ecuador estén clasificados como tales, se procede al almacenamiento de los mismo en recipientes construidos para estos fines, como tenemos para desechos sólidos se debe de almacenar en un recipiente metálico provisto con tapas desmontables para evitar que se esparzan, y para desechos líquidos se almacena en un recipiente provisto con tapas roscables para evitar que se derrame el mismo, se enfatiza que cuando sean desechos tales como: (bombillos de alumbrado, tubos fluorescentes o ahorradores), se colocarán identificaciones (pintadas y/o con etiquetas).

Medidas para el acopio temporal, almacenamiento transporte y disposición final de desechos comunes y peligrosos.

Después de la clasificación en la fuente, los desechos comunes no peligrosos (papel, plástico, cartón y chatarra), se colocarán bajo cubierta, en un sitio alejado de la humedad, con piso impermeabilizado, para la correcta separación de desechos, se deberá disponer en todos los sitios de

generación de recipientes (basureros), el uso de equipo de protección personal, equipos de ayuda en caso de incendios que serán del tipo AB o ABC, el acceso hasta el sitio deberá poseer las facilidades para que quienes ingresen a realizar el depósito o retiro de los desechos lo hagan sin contratiempos.

Periódicamente, los desechos peligrosos se colocarán y llevarán al lugar de almacenamiento temporal designado dentro de las bodegas de la empresa. Este sitio estará provisto de piso de hormigón, si el desecho a almacenar es líquido, poseerá además una barrera continua de hormigón de aproximadamente 15 cm o más de altura alrededor del perímetro del piso formando un cubeto cuya capacidad de almacenamiento será superior al 110% del volumen total de desechos que se encuentren almacenados.

Poseerá también una canaleta de recolección de posibles derrames de líquidos y un sumidero de capacidad apropiada para el almacenamiento y recolección de estos líquidos, en este se instalará un sistema de bombeo automático para que el líquido derramado sea nuevamente almacenado en recipientes especiales.

El lugar de almacenamiento tendrá un techo para proteger a los tambores de la intemperie, dispuesto a una altura apropiada para impedir la radiación solar, con iluminación y ventilación adecuada, contará con elementos de lucha contra incendios y de seguridad en caso de accidentes o derrames.

Disposición final

La disposición final de los desechos va a depender de la cantidad y el tipo de estos, cuando por el acopio se haya acumulado la suficiente cantidad de desechos reciclables, estos serán entregados al o los gestores autorizados para realizar el procedimiento, pero si se trata de desechos peligrosos, únicamente se los entregará a quienes posean la licencia y permiso otorgado por el MAE para tal actividad, en cualquier caso se registrarán las

entregas en los formularios respectivos, debiendo además realizar el seguimiento a la cadena de custodia de los desechos entregados.



Figura 3. 3. Cadena de gestión de desechos peligrosos.

Fuente: elaboración propia

3.3. Resultados técnicos.

En estos resultados se enfocan en los fundamentos ingenieriles que se utilizaron para poder realizar el diseño del plan de mantenimiento de cada equipo de los laboratorios, cumpliendo con todos los requerimientos y objetivos que se tenía planteado.

Aquí también se muestran los resultados del plan de manejo de desechos. Actualmente conocemos un nuevo uso para los desechos reciclables, se evita quemar basura, lo cual esto genera beneficios al medio ambiente debido a que la generación de CO₂ disminuye.

El punto más importante es la concientización de los trabajadores que se debe de reciclar y esto equivale a separar los desechos tal como se lo especifica anteriormente, ya que esto podría evitar accidentes en el área laboral porque si se trabaja o se recicla desechos peligrosos de forma incorrecta esto podría causar accidentes graves para los trabajadores. Gracias al reciclaje se puede tener una cantidad de objetos que se pueden reutilizar.

Gracias a esto se tiene un procedimiento práctico y aplicable que se ejecutará mediante el plan de manejo de desechos, para que el personal que se encuentra trabajando en los laboratorios, sigan las instrucciones para un mejor manejo de los desechos que se obtiene en los

mantenimientos de cada uno de los equipos que existen en los laboratorios.

3.3.1. Implantación de las actividades del Plan de Mantenimiento en el GMAO

Luego de recopilar los datos de los equipos de los laboratorios; sus planes de mantenimiento, y su ingreso en el software seleccionado, se presenta ahora cómo luce esta información en el software, y los beneficios obtenidos que serán de mucha ayuda para gestionar el mantenimiento de la institución.

En la figura 3.4 se muestra la pantalla de trabajo, donde se puede observar cómo luce la lista de todos los equipos registrados en el programa. Son un total de 139 equipos registrados, como se muestra en la parte inferior de esta figura, incluyendo cada uno; marca, modelo, código de identificación y una foto propia.

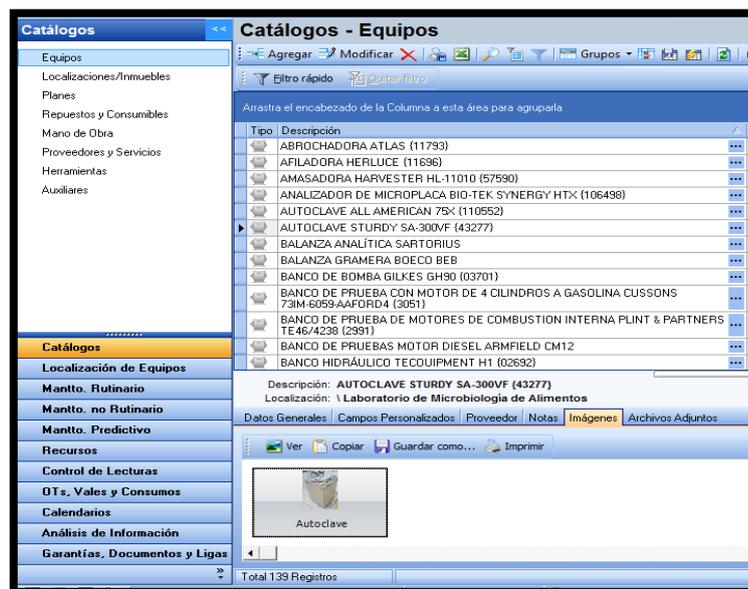


Figura 3. 4 Catálogo de los equipos ingresados
Fuente: elaboración propia

Cada equipo está ligado a su ubicación, como se muestra en la figura 3.5, son ocho laboratorios los que se registraron en el programa. Estas ubicaciones se encuentran en la sección Localizaciones/Inmuebles del menú catálogos. También se pueden

añadir secciones o cuartos a cada ubicación, pero en este caso no fue necesario.

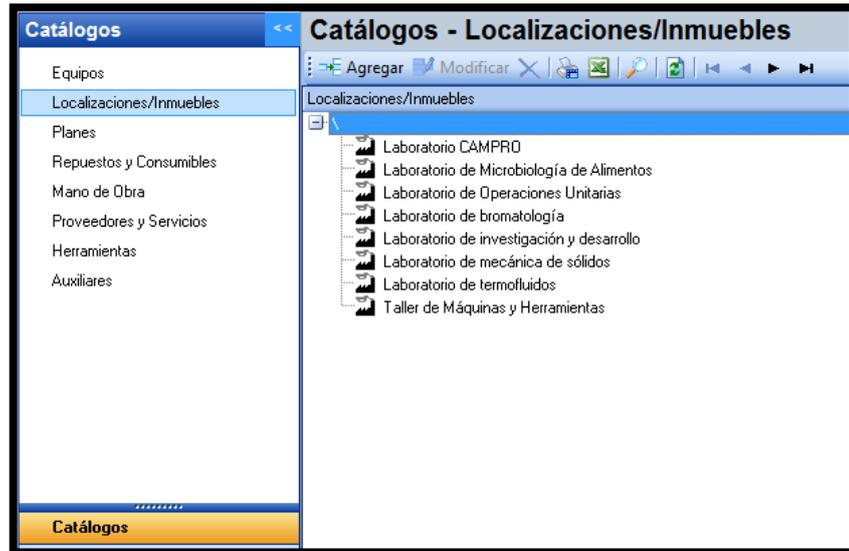


Figura 3. 5 Catálogo de localizaciones.

Fuente: elaboración propia

En la figura 3.6 se muestra una ventana donde se pueden apreciar las actividades de mantenimiento del plan asociado a cada equipo, en este caso se presentan las actividades de mantenimiento para un banco de pruebas de un motor de combustión interna.

Las actividades mostradas en la parte inferior además presentan algunas características asociadas a ella, como la frecuencia a la que deben realizarse, su duración, entre otras.

Una de las utilidades que se mencionó de estos programas, es la de generación de calendarios para las actividades de mantenimiento. En la figura 3.7 se presenta una sección del calendario generado para todos los equipos en un periodo de tres meses.

Los puntos verdes señalan los días en los que hay que realizar actividades de mantenimiento. Cuando se hace doble clic sobre los puntos, se puede ver la información sobre la actividad a realizar.

Calendario Condensado de: AUTOCLAVE ALL AMERICAN 75X (110552)																											
Ago 2017							Sep 2017							Oct 2017							Nov 2017						
Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13	4	5	6	7	8	9	10	2	3	4	5	6	7	8	6	7	8	9	10	11	12
14	15	16	17	18	19	20	11	12	13	14	15	16	17	9	10	11	12	13	14	15	13	14	15	16	17	18	19
21	22	23	24	25	26	27	18	19	20	21	22	23	24	16	17	18	19	20	21	22	20	21	22	23	24	25	26
28	29	30	31				25	26	27	28	29	30	23	24	25	26	27	28	29	27	28	29	30				
													30	31													
Dic 2017							Ene 2018							Feb 2018							Mar 2018						
Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom
			1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7				1	2	3	4				1	2	3	4
4	5	6	7	8	9	10	8	9	10	11	12	13	14	5	6	7	8	9	10	11	5	6	7	8	9	10	11
11	12	13	14	15	16	17	15	16	17	18	19	20	21	12	13	14	15	16	17	18	12	13	14	15	16	17	18
18	19	20	21	22	23	24	22	23	24	25	26	27	28	19	20	21	22	23	24	25	19	20	21	22	23	24	25
25	26	27	28	29	30	31	29	30	31					26	27	28					26	27	28	29	30	31	
Abr 2018							Mayo 2018							Jun 2018							Jul 2018						
Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom
						1	1	2	3	4	5	6				1	2	3	4				1	2	3	4	
2	3	4	5	6	7	8	7	8	9	10	11	12	13	4	5	6	7	8	9	10	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	14	15	16	17	18	19	20	11	12	13	14	15	16	17	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	21	22	23	24	25	26	27	18	19	20	21	22	23	24	16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29	28	29	30	31				25	26	27	28	29	30	23	24	25	26	27	28	29	
30																			30	31							

Figura 3. 8 Vista de calendario anual por equipo.
Fuente: elaboración propia

Otra ventaja es la generación de órdenes de trabajo de forma automática. En la figura 3.9 y 3.10 se presentan las fracciones superior e inferior, respectivamente, de una orden de trabajo generada para un equipo. Este es el modelo por defecto de la orden. La institución deberá editar las secciones de este formato de acuerdo con sus requerimientos.

Mi Compañía (clave ISO)

Mi Departamento (revisión ISO)

Orden de Trabajo

Folio: 000001



del 20-ago-2017 al 31-ago-2017

Responsable:

Generó: Usuario no registrado

Revisó:

Autorizó:

Duración aproximada: 0 h 10 m

Fecha y hora de recepción de la OT:

Fecha y hora de devolución de la OT:

ANALIZADOR DE MICROPLACA BIO-TEK SYNERGY HTX {106498}

Localización: \Laboratorio de investigación y desarrollo

Equipo padre:

Prioridad: **Baja**

Clasificación 1:

Clasificación 2:

Centro de costo:



Figura 3. 9 Formato de orden de trabajo sección superior.
Fuente: elaboración propia

Cada sección del formato de las figuras 3.9 y 3.10 puede editarse y decidirse si se desea que aparezca o no. En la figura 3.9 se ha impreso la foto del equipo y datos como su localización y otros campos vacíos que pueden eliminarse. En la figura 3.10, que es la continuación de la hoja, se muestran los trabajos que se deben realizar en el equipo. La barra cuadrículada inferior indica las fechas de los días dentro de los cuales se deben ejecutar dichas actividades, siendo la fecha límite la marcada por la señal roja. Esta fecha se maneja con la frecuencia establecida de las actividades de mantenimiento que se muestra también en la figura, y puede modificarse si se requiere, pero en el plan asignado al equipo.



Actividades rutinarias

actividades diarias

Frecuencia: 1 Semana(s)

Duración aproximada: 0 h 10 m

Requiere paro: No

Prioridad: Baja

Clasificación 1:

Clasificación 2:

Procedimiento:

- Limpiar todas las superficies expuestas cada vez que se lo requiera (ver procedimiento en el manual del equipo).
- Enjuagar o purgar los conductos de fluido diariamente.
- (opcional) Ejecutar el protocolo de dispensación cuando se lo requiera.
- Vaciar o limpiar la canaleta de cebado diariamente
- Limpiar la placa de cebado cuando se lo requiera
- Descontaminar antes de guardarlo (ver procedimiento en el manual del equipo).

20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Comentarios: _____

agosto 20, 2017 09:29 pm
Página 1 de 1
(clave ISO) (revisión ISO)

Figura 3. 10 Formato de orden de trabajo sección inferior.

Fuente: elaboración propia

CAPÍTULO 4

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Cada uno de los resultados obtenidos en este trabajo ayudará a fortalecer el mantenimiento de los laboratorios. Los administradores tendrán a la mano todos los equipos que poseen sus laboratorios, no solo sus nombres, marcas y modelos, sino también una foto de cada uno de ellos, con lo cual se elimina la posibilidad de desconocimiento explicada en el capítulo 1.

Los calendarios generados automáticamente ayudarán a los administradores a la planificación de las actividades de mantenimiento, atendiendo a todos los equipos, evitando así que algunos de ellos queden descuidados.

Las órdenes de trabajo que se generan automáticamente permitirán llevar un control del mantenimiento ejecutado en cada equipo, y el ahorro de tiempo en la elaboración de éstas que tuviera que realizar el jefe de mantenimiento.

Los datos retroalimentados en el programa durante la implementación permitirán obtener indicadores reales de mantenimiento, como tiempo medio entre fallas, para los trabajos correctivos, e ir actualizando los tiempos que la ejecución de cada actividad toma.

4.1. Conclusiones

- ❖ El plan desarrollado consiste en su mayoría en actividades de mantenimiento preventivo, debido a que está basado en las instrucciones de sus manuales, donde se especifican mayormente actividades de este tipo, y se sugiere que se contacten con sus técnicos cuando sean requeridas acciones correctivas. Cabe mencionar que muchos de estos son equipos relativamente nuevos y podrían perder su garantía de fábrica si se los desmantela.

- ❖ Casi todos los equipos quedaron con prioridad C, por el hecho de que fueron jerarquizados por riesgo a la seguridad, esto no significa que no necesiten mantenimiento, sino, que, de presentarse una falla en ellos, esta no perjudicaría a la integridad de los usuarios del mismo.
- ❖ El único equipo con categoría A, fue la caldera del laboratorio de termofluidos, porque acorde al método de jerarquización utilizado, en ella se identifican peligros que podrían causar daños de tercer grado, y en la matriz de criticidad se justifica su posición debido a la probabilidad de ocurrencia bajo el concepto de la curva de la bañera, donde se indica que con el tiempo los equipos tienden a incrementar su tasa de fallos. A diferencia del caldero del laboratorio de operaciones unitarias, que es más moderno y además se encuentra fuera del laboratorio.
- ❖ El análisis de modo de fallos no es aplicado a todos los equipos, puesto que para realizarlo se debería conocer todas las funciones de sus componentes internos, algo que está fuera del alcance de este trabajo. Sin embargo, en la caldera si se lo realiza a nivel de detalle de sus accesorios y componentes ya que estos tienen funciones bien especificadas en su manual.
- ❖ El análisis de costos realizado es una estimación a muy groso modo, ya que se basa en valores aproximados de materiales, que pueden tener costos muy variados, así como precios de herramientas que varían mucho dependiendo del lugar de compra, y calidad de las mismas.
- ❖ Se obtuvo un manual sencillo y aplicable para cada desecho existente que producen los mantenimientos de los equipos, el cual evita que existan accidentes en el área de trabajo, y concientiza al personal que labora en los laboratorios que el reciclaje es uno de los métodos para disminuir la contaminación ambiental.

4.2. Recomendaciones

- ❖ Sería ideal ir modificando los tiempos que toma cada actividad de mantenimiento, durante la implementación de los planes cuando se registran los trabajos terminados en el programa, para tener así datos más acertados que permitan controlar el tiempo invertido por los técnicos.
- ❖ Se recomienda registrar todos los trabajos de mantenimiento correctivos en el programa con el fin de tener un historial por equipo que permita la determinación de indicadores útiles como el tiempo medio entre fallas, confiabilidad, etc.
- ❖ Es recomendable utilizar las librerías de planes que posee el software cuando se quiere ingresar nuevos equipos, ya que se pueden editar sus actividades y frecuencias para adaptarlos a las necesidades particulares de la institución.
- ❖ Es recomendable tener un stock de repuestos de aquellos de difícil adquisición, como, por ejemplo, los que se dañen frecuentemente y que sea necesario importarlos, o sean escasos.
- ❖ Se debe seguir a cabalidad el procedimiento establecido en el plan de manejo de desechos con la finalidad de poder tener todos los desechos en orden, y por ende tener tantos los desechos reciclables como los no reciclables en un lugar seguro.

BIBLIOGRAFÍA

- Blanchard, & Lowery. (1969). *Maintainability Principles and Practices*. New York: McGRAW-HILL.
- Boilers, T. C. (1980). *Thompson Cochran Boilers Operation and Maintenance Manual*. United Kingdom.
- Bosch. (2013, 01 23). *Mantenimiento de Calderas Industriales. Calderas Eficientes en Procesos Industriales*. Madrid.
- Collet, R. C. (1950, 01 14). *Elección Pelton - Francis*. Retrieved 06 20, 2017, from http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/sel_turbinas/fondos/eleccion.htm
- Cordero, E. Z. (2012). *Diseñar un sistema de seguridad industrial en el laboratorio de termofluidos de la FIMCP-ESPOL*. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Elonka, S. M. (1988). *Equipos industriales guía práctica para reparación y mantenimiento*. Mexico: McGRAW-HILL.
- Gonzálbez. (1998). Retrieved 7 31, 2017, from http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/Guias_Ev_Riesgos/Ficheros/Evaluacion_riesgos.pdf
- Gonzálbez, P. B. (1998). *Medidas de seguridad en máquinas: criterios de selección*. Retrieved 7 31, 2017, from http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_235.pdf
- González, F. J. (2010, 04 06). *Gestión del Mantenimiento*. Retrieved 06 19, 2017, from [http://merkado.unex.es/operaciones/descargas/EE%20\(LE\)/Cap%C3%ADtulo%2015%20\[Modo%20de%20compatibilidad\].pdf](http://merkado.unex.es/operaciones/descargas/EE%20(LE)/Cap%C3%ADtulo%2015%20[Modo%20de%20compatibilidad].pdf)
- Grech, P. (2001). *Introducción a la ingeniería: Un enfoque a través del diseño*. Bogotá: Pearson Educación de Colombia.
- Hamburg, G. (2011, 11 16). *Banco de Pruebas para Motores de Cuatro Cilindros de Cuatro Tiempos*. Retrieved 06 21, 2017, from http://www.gunt.de/images/download/CT400_spanish.pdf
- Hamburg, G. (2014, 06 01). *Túnel de Viento Supersónico con Visualización del Flujo*. Retrieved 06 20, 2017, from http://www.gunt.de/images/download/HM172_spanish.pdf
- Informáticas, S. d. (2017, 6 12). *gmaolinx*. Retrieved 6 12, 2017, from <https://www.gmaolinx.com/#slider>
- Intermark. (2017, 6 12). *Blazar 40*. Retrieved 6 12, 2017, from <http://www.blazar40.com/precios-software-gmao/>

- Internacional, T. A. (2017, 6 12). *MPsoftware*. Retrieved 6 12, 2017, from http://mpsoftware.com.mx/software_mantenimiento/mp_precios_cmms.html
- Irim. (2013, 6 26). *¿Qué es un plan de mantenimiento?* Retrieved 06 08, 2017, from <http://www.elplandemantenimiento.com/index.php/que-es-un-plan-de-mantenimiento>
- Laboy, F. M. (2014, 4 21). 9 pasos para desarrollar tu programa de mantenimiento.
- Lopez, J. M. (2013). *Gestión de Mantenimiento*. México: UVM.
- Márquez, C. A. (2012). Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos. In C. A. Márquez, *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos* (pp. 31 -34). Cevilla - España: INGEMAN.
- Meao. (2004, 03 11). *Equipos de Dinamómetros para Ensayos de Motores para Laboratorio*. Retrieved 06 21, 2017, from <http://www.meatesting.com/Product.aspx?l=5&p=4&pg=54>
- Méndez, A. G. (2008). *Tecnológico Nacional de México*. Retrieved 5 12, 2017, from Instituto Tecnológico Superior de TEZIUTLÁN: http://www.itsteziutlan.edu.mx/site2010/index.php?option=com_content&view=article&id=685:conceptos-basicos-sobre-mantenimiento-industrial&catid=27:artlos&Itemid=288
- Ministerio de Industria, T. y. (2011, octubre 15). *Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado*. Retrieved 6 6, 2017, from <https://www.boe.es/buscar/pdf/2009/BOE-A-2009-1964-consolidado.pdf>
- Moubray, J. (1991). RCM II: Reliability Centered Maintenance, Industrial Press Inc. New York, USA.
- Nelly. (1996, 04 2). *Ejemplo de tipos de calderas*. Retrieved 06 12, 2017, from <http://www.soloejemplos.com/ejemplo-de-tipos-de-calderas/>
- Olarte, W., Botero, M., & Cañon, B. (2010). Importancia del Mantenimiento Industrial dentro de los Procesos de Producción. *Scientia Et Technica*.
- Parra, M. C. (2012). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos*. Cevilla - España: INGEMAN.
- Partida, A. (2013, 08 17). *GMAO: La importancia del software para la gestión del mantenimiento*. Retrieved 06 08, 2017, from <http://mantenimiento-mi.es/2013/gmao-la-importancia-del-software-para-la-gestion-del-mantenimiento>
- Paucar, F. Y. (2013, 12 16). *Máquinas del taller*. Retrieved 06 20, 2017, from http://yorleomaquinas.blogspot.com/2013/12/unidad-educativa-el-oro-nombres-leon_16.html
- Petter. (1966). Petter Diesel Engines. *Operator Handbook*. London, England.

- Pinto, A. (2010, 02 19). *Tipos de máquinas universales, de tensión y compresión*. Retrieved 06 20, 2017, from <http://ingenieriareal.com/tipos-de-maquinas-universales-de-tension-y-compresion/>
- Porter, M. (2012, 10 31). *Kudeaketa Aurreratua EUSKALIT Gestión Avanzada*. Retrieved 6 8, 2017, from <http://www.euskalit.net/gestion/?p=855>
- Preciado, F. S. (2012, 02 28). *Mantenimiento: Correctivo, preventivo y predictivo*. Retrieved 06 19, 2017, from <http://www.atmosferis.com/mantenimiento-correctivo-preventivo-y-predictivo/>
- Salud, M. d. (2006). *Programa Nacional de Mantenimiento Y Equipamiento*. Retrieved 6 6, 2017, from <http://www.minsa.gob.pe/dgiem/cendoc/pdfs/GUIAS%20DE%20MANTTO%20Y%20REDES%20DE%20DISTRIBUCION%20DE%20VAPOR.pdf>
- Sevilla, U. d. (2011, 02 19). *Tratamientos de agua- Grupo banco hidráulico*. Retrieved 06 21, 2017, from http://aula.aguapedia.org/file.php/12/BANCO_HIDRAULICA-BOMBAS/MEMORIA_1_.pdf
- Valves, V. (2013, Abril 12). *VAPORTEC, C.A. Uso Eficiente del Vapor*. Retrieved 6 2017, 7, from <https://vaportecvalvulas.wordpress.com/2013/04/12/mantenimiento-de-la-red-de-distribucion-de-vapor/>
- Vargas, Á. (2011). *Mantenimiento proactivo*. Guayaquil: Centro de Difusión y Publicaciones -ESPOL.
- Viloria, J. R. (1997). *Manual de Mantenimiento de Instalaciones*. Madrid: PARANINFO.

ANEXOS

ANEXOS A
HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Hoja de datos para recolección de información de los equipos

No.

Identificación del equipo

Nombre del laboratorio:	
Tipo de equipo:	
Marca:	
Modelo:	
Serie:	
Código:	

Información histórica

1. ¿Cuánto tiempo tiene el equipo?

2. ¿Está en uso el equipo?

- Sí
 No

3. ¿Existe el manual de mantenimiento?

- Sí
 No

4. ¿Se ha realizado algún tipo de mantenimiento en el equipo?

- Sí
 No

5. Describa el mantenimiento que se realiza o realizó alguna vez en el equipo.

6. ¿Ha ocurrido alguna falla o avería en este equipo?

- Sí
 No

7. Describa la falla y los repuestos que se reemplazaron.

8. Escriba la frecuencia con la que se han presentado las fallas

ANEXOS B
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

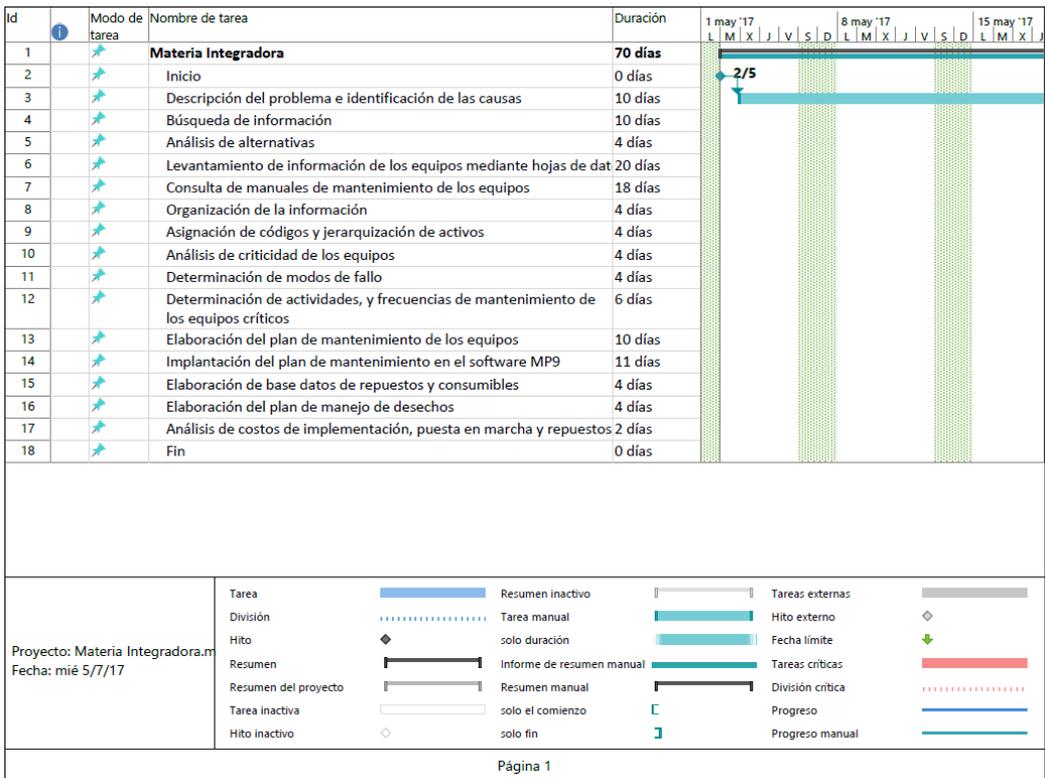


Figura B. 1 Cronograma
Fuente: Elaboración propia

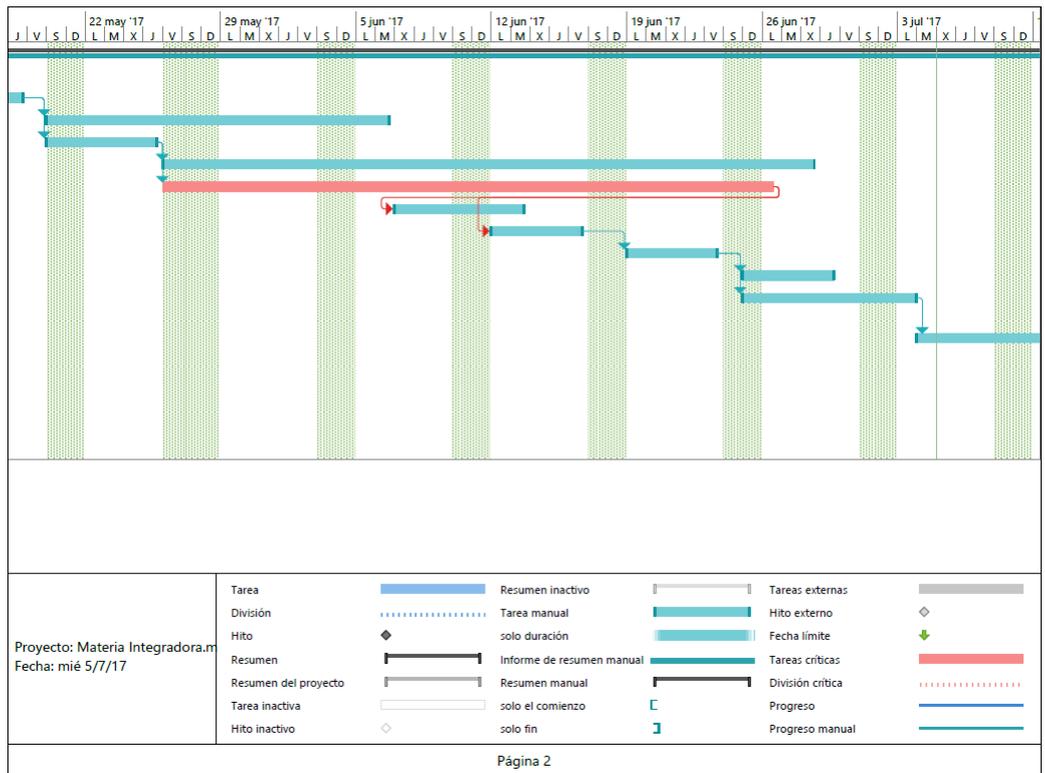


Figura B. 2 Cronograma.
Fuente: Elaboración propia

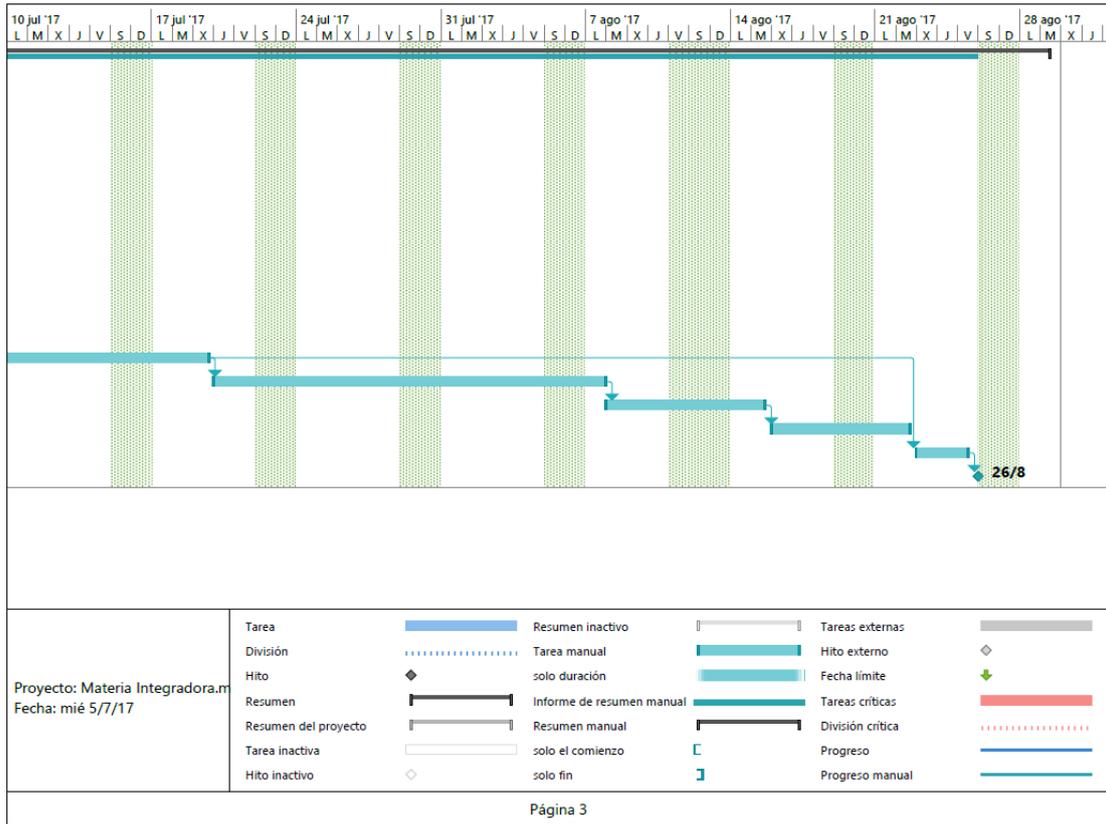


Figura B. 3 Cronograma
Fuente: Elaboración propia

ANEXOS C
PLANES DE MANTENIMIENTO

LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS

❖ Motor Diesel con dinamómetro

Obtenido de: Experimentos con motores de combustión interna, Motor Diesel, Operación, Prueba y evaluación.

Autor: Wasdyke y Snyder. Editorial: Limusa Noriega. México 1991

Revisión y cambio de aceite

Emplee los siguientes procedimientos para revisar o cambiar el aceite lubricante:

- a) Observe la marca del nivel de aceite en la varilla medidora, como se indica en la figura D2-8, antes de cada operación del motor. Si el nivel de aceite está bajo, añada lo suficiente para elevarlo hasta la línea H de la varilla citada.
- b) Cambie el aceite después de cada 250 horas de operación. Vacíe el colector de aceite, lávelo con aceite de enjuague y ponga otra vez el tapón de descarga.
- c) Para llenar de nuevo el cárter, quite la tapa de llenado de aceite y la varilla medidora y vierta lentamente aceite de grado apropiado en el cárter, hasta que el nivel llegue a la marca H de la varilla. La capacidad del cárter es de 1.54 litros.
- d) Cada vez que se cambie el aceite deben sustituirse el filtro de aceite y el anillo de la junta. Quite la tapa de retención del filtro de aceite, como se indica en la figura D2-9. Saque y reemplace el elemento filtrante y el anillo de la junta.

Servicio del depurador de aire

Un depurador sucio puede causar pérdida de potencia y consumo excesivo de combustible. El filtro de aire debe limpiarse cada 250 horas de operación del motor o cuando lo disponga el instructor.

- a) Saque el elemento filtrante y su cubierta como se muestra en la figura D2-10
- b) Dé pequeños golpes al elemento de papel del filtro contra el borde de un banco de trabajo para desalojar las partículas grandes de suciedad y luego límpielo soplando con aire comprimido.
- c) Limpie la cubierta del depurador de aire con queroseno o un limpiador semejante. **En ninguna circunstancia utilice gasolina.** Límpielo con un trapo para secar y luego termine el secado con aire comprimido.

- d) Arme de nuevo el filtro de aire e instálelo en el motor.

Mantenimiento del sistema de escape.

Un silenciador sucio causa pérdida de potencia al obstruir la salida de los gases de escape de la cámara de combustión. Dichos gases atrapados en la cámara de combustión impiden que ésta se llene con una nueva carga de aire fresco. Esto altera la relación de aire a combustible y la temperatura de compresión, originando una pérdida de potencia. El sistema de escape debe limpiarse cada 250 horas de operación o cuando lo ordene el instructor.

- a) Quite las tuercas de ensamble del conjunto del silenciador y separe del motor este último (vea la figura D2-11) del manual. Dé pequeños golpes al silenciador varias veces contra el banco de trabajo para hacer que se desprendan el carbón y la escoria acumulados.
- b) Examine el empaque y si está torcido o dañado, reemplácelo.
- c) Reinstale el conjunto del silenciador.

❖ Motor de gasolina de dos tiempos con dinamómetro

Obtenido de: Motor de gasolina de dos tiempos Operación Prueba y evaluación; autor: Wasdyke & Snyder
Editorial: Limusa Noriega. México 1991

Mantenimiento de la bujía

La bujía se debe limpiar y recalibrar después de cada 100 horas de operación. Cuando el instructor le diga que tiene que limpiar la bujía.

Se utiliza llave 13/16", cepillo de alambre, disolvente para lavar la bujía, calibrador de alambre, para este mantenimiento. Medida de la luz de los electrodos es: 0.64mm (0.025 pulg).

Limpieza el filtro de aire

Debe limpiarse después de cada 25 horas de operación y siguiendo las instrucciones del manual del fabricante.

Ajuste del carburador

No es necesario mantenimiento preventivo, pero en el manual se especifica el procedimiento.

❖ **Motor de gasolina de cuatro tiempos con dinamómetro**

Obtenido de: Motor de gasolina de cuatro tiempos Operación Prueba y evaluación; autor: Wasdyke & Snyder
Editorial: Limusa Noriega. México 1991

Revisión y cambio de aceite

- Revisión del aceite: MS-SAE 30 de alto detergente cada 25 horas de operación.
- Cambio de aceite cada 250 horas (el cárter tiene una capacidad de 0.591 litros).

Mantenimiento de la bujía

Se debe limpiar y calibrar su luz después de cada 100 horas de operación. La luz debe ser ajustada a 0.762 mm (0.030 pulg)

Limpieza del filtro de aire

Se realiza cada 25 horas de operación de acuerdo con el manual.

Ajustes del carburador

No requiere mantenimiento preventivo. Para desarmar o ajustar ver el manual.

❖ **Banco de pruebas de motor a gasolina con razón de compresión variable**

Si se ha parado el motor por un período de tiempo prolongado, es posible que la bomba de aceite deba ser llenada en el arranque inicial, lo que se realiza de la siguiente manera: Desatornille el tapón hexagonal en el tope del reservorio pequeño (solo es a mano derecha mirando desde la manija de arranque del motor), llene el reservorio con aceite del motor y vuelva a colocar el tapón.

Suministro de agua

Mensualmente:

- Drenar los enfriadores y limpiar el tanque. volver a llenar el sistema con agua tratada con valor de pH de 8,4.

- Examinar y limpiar los filtros finos del tanque de entrada de agua de los enfriadores

Anualmente:

- Una vez cada doce meses, el interior de la carcasa del enfriador y los protectores de la estructura debe ser raspado y pintado con pintura bitumastic.

Cojinete

- Engrase todas las partes al menos una vez por semana, y con mayor frecuencia si la máquina se utiliza mucho.

Collarín del eje

- Reemplazar cuando sea necesario en conjunto con el empaque de la misma marca.

Drenaje

- El agua debe ser drenada fuera de la carcasa en la terminación de la prueba, con el fin de evitar la corrosión.

Amortiguador

- Cambiar el aceite del amortiguador cuando sea necesario, evitando que se ponga espeso o gomoso. El amortiguador debe estar siempre lleno con aceite de máquina liviano de buena calidad.

Engranajes de equilibrio

- El engranaje de enlace en esta parte del dinamómetro deber ser periódicamente aceitado y protegido contra la oxidación, especialmente en las juntas de pasador.

Tacómetro

- El piñón en el extremo del vástago de accionamiento del tacómetro se debe examinar para revisar desgaste una vez al mes, desenroscando el vástago de la carcasa. Antes de desenroscar el vástago desacoplar el resorte del

accionamiento del tacómetro y remover el tacómetro de la abrazadera. Llenar y atornillar el recipiente de grasa lubricadora con frecuencia.

Equipo de compuerta

- Mantener el collarín en estado satisfactorio. Ocasionalmente lubricar con aceite las varillas roscadas esclusa, contra eje y sus respectivos cojinetes. Engrasar los engranajes del volante.

Tabla C. 1. Tabla de tipos de lubricantes.

Lubricación			
Aplicación	Lubricante	tipo	Lubricar en intervalos de:
Rodamientos del eje principal	Grasa	Mobilux Grease No.2	1 mes
Casquillos y cojinetes de engranajes de pesaje	Grasa	Mobilux Grease No.2	6 meses
Engranajes conductores del tacómetro	Grasa liviana	Mobilux Grease No.2	1 mes
Eje de accionamiento del tacómetro	Grasa	Mobilux Grease No.2	1 semana
Tacómetro	Aceite	Clock oil	1 semana
Amortiguador del equipo de pesaje	Aceite	Vactra oil heavy medium	Mantener lleno, reemplazar cuando sea necesario.
Todos los acoples operativos	Aceite	Vactra oil heavy medium	2 semanas

❖ Motores Diesel mono cilíndrico tipo AA1-AB1

Obtenido de: Operators Handbook Petter Diesel Engines; ISSUE3; Publication No 340938

Diariamente

- a) Comprobar el aceite lubricante y llenar de aceite si es necesario
- b) Comprobar que el sistema de refrigeración se halla en buen estado y libre de obstrucciones.

NOTA: las recomendaciones de mantenimiento que damos a continuación son adecuadas para condiciones medias de funcionamiento. En ambientes polvorientos,

los depuradores de aire y los filtros de aceite lubricante y de combustible necesitan cuidados más frecuentes. Posiblemente se precisará descarbonizar más frecuentemente, cuando los motores funcionen a baja carga durante largos periodos.

Cada 50 horas

- a) Limpiar el depurador de aire (tipo a baño de aceite)

Cada 250 horas

- a) Comprobar todas las tuercas y tornillos para ver si están bien apretados. (Las tuercas de la culata NO deben ser apretadas cuando el cilindro está caliente).
- b) Asegurarse de que el respiradero del tapón del tanque de combustible no está obstruido.
- c) Limpiar el depurador de aire (elemento del tipo de papel)
- d) Limpiar los depósitos del sistema de escape.
- e) Vaciar el cárter, lavarlo con aceite liviano y rellenarlo con aceite nuevo. (se puede utilizar aceite de parafina si no se puede obtener aceite liviano, pero el motor no debe funcionar teniendo parafina en el cárter.)
- f) Verificar que no existen fugas en el sistema de combustible
- g) Comprobar las luces de válvula y ajustarlas si es necesario.
- h) Instalar un nuevo elemento y un nuevo anillo de junta en el filtro de aceite lubricante.
- i) Lubricar el varillaje de mando de velocidad.
- j) Engrasar ligeramente el mecanismo de arranque a mano 4:1, o del sistema de manivela alzada, según el caso.

Cada 500 horas

- a) Renovar el elemento del depurador de aire (elemento del tipo de papel)

Cada 1000 horas

- a) Limpiar perfectamente el tanque de combustible.
- b) Renovar el elemento del filtro de combustible.

Cada 2000 horas

- a) Descarbonizar

- b) Limpiar cuidadosamente los orificios de retorno de aceite. Inspeccionar el cilindro por desgaste y juego excesivo.
- c) Examinar los cojinetes del cigüeñal y reemplazarlos si el juego es excesivo.
- d) Limpiar el colador de la bomba de aceite lubricante.
- e) Sacar el inyector y probar el chorro. Si funciona debidamente montarlo de nuevo. Siempre que se desmonte el inyector es preciso poner una arandela nueva en la porta inyector, colocándola con la parte cóncava mirando en sentido de alejamiento del porta inyector.

Tabla C. 2. Lista de Lubricantes.

Fabricante	Tipo
Shell Oil Co. Ltd.	Rotella SX 10W Rotella TX 10W Rotella TX 10W/30 X100-10W Talona Oil 10W
Mobil Oil Co. Ltd.	Delvac Special 10W/30 Delvac 1210
B.P. companies	Vanellus 10W Super Visco-Static 10W/40
Castrol Ltd.	Deusol CRI 10 Deusol CRB 10 Deusol CRB 10W/30 Castrol CRI 10 Castrol CRB 10 Agricastrol Multi-Use 10W/30

❖ **Turbina de vapor**

Obtenido de: Greenbat instruction manual and spare parts list.

Esta programación de chequeos de mantenimiento está hecha para turbinas que se mantienen operando continuamente. Se puede tomar solo como una guía para turbinas en reposo o en servicio intermitente.

Se recomienda que se realice un archivo para registrar las horas de funcionamiento y el mantenimiento que se lleve a cabo junto con las variaciones del desempeño que se observen, ya que pueden ser datos de ayuda para los ingenieros de mantenimiento en la posteridad.

Diariamente

Abrir el grifo de drenaje del reservorio de aceite y escurrir el agua que haya podido entra con el aceite.

Si se instala un tacómetro mecánico este debe ser lubricado de acuerdo con lo que se indica en su placa de instrucciones.

Semanalmente

Lubricar los puntos de pivote de la válvula del gobernador y acoplamientos de accionamiento de disparo con aceite para máquinas.

Engrase los casquillos del árbol de levas de la válvula de parada y el eje del volante.

Mensualmente

Limpie los filtros de aceite. Los filtros de doble tamiz pueden ser retirados sin necesidad de detener la turbina. Estos filtros se deben retirar uno a la vez. Lavar los filtros en solvente y secarlos con aire a baja presión.

Anualmente

Debido a la gran variedad de condiciones con las que las turbinas son operadas, no es posible establecer exactamente cuan a menudo el aceite debería ser drenado y reemplazado. Muchas compañías que fabrican aceites ofrecen el servicio de análisis de muestras, en el que se reporta su condición y se advierte si este ya cumplió su vida útil. Si no se dispone de este servicio, una regla de oro es reemplazarlo anualmente.

❖ Túnel de humo

Obtenido de: Smoke tunnel plant engineers datasheet

Después de un periodo de operación habrá una acumulación de querosín condensado en el receptor, éste debería ser desconectado y drenado. Aparte de esto y del reemplazo periódico de los bombillos de la lámpara de la sección de trabajo, ningún otro mantenimiento del túnel debería ser necesario.

❖ **Turbina Pelton**

Obtenido de: Gilkes Tutor Operating and Maintenance Gilbert Gilkes & Gordon LTD Kendall England

- Mantener el equipo limpio protegido con el cobertor plástico.
- Cambiar el agua si se ve descolorida
- Ocasionalmente agregar una pequeña cantidad de aceite al revestimiento del freno prony
- El ensamble de bomba y motor no requieren atención, pero si se presentan dificultades se pueden desmantelar guiándose con la placa.
- La turbina Francis requiere la lubricación ocasional de las guías del mecanismo de paletas ajustables
- La turbina Pelton no requiere mantenimiento

❖ **Banco hidráulico**

Obtenido de: Installation and Servicing Instructions; Hydraulic Apparatus; Tecquipment England

- Limpiar el tanque con trapo húmedo sin pelusa una vez por semestre.
- Engrasar con grasa liviana ocasionalmente los cojinetes de bronce que soportan los extremos de la leva

❖ **Equipo de convección natural y radiación**

Obtenido de: PLINT ENGINEERS TE85; Instructional equipment for engineering; Natural convection & radiation apparatus

- La única operación de mantenimiento que debería ser necesaria es el cambio periódico del aceite de la bomba de vacío (aceite: N.G.N. type RP.069)
- Motor eléctrico de 1hp de 120 V 60hz 1760 rev/min
- Bomba de vacío: NGN Rotary pump PSR/2

❖ **Equipo de flujo laminar y turbulento**

Obtenido de: LAMINAR/TURBULENT PIPE FLOW APPARATUS

El aparato debe requerir muy poco mantenimiento más allá de la atención a las fugas y la limpieza general. La bomba y el motor deberían funcionar por largos períodos sin atención.

❖ **Fluid Friction Apparatus ARMFIELD**

El mantenimiento lo debe realizar personal calificado que entienda el funcionamiento del equipo.

- Drenar el agua de todas las tuberías si el equipo no va a ser utilizado por largos periodos utilizando el procedimiento descrito en el manual sección 13.2.
- Limpiar con aire comprimido la toma de presión que derraman agua excesivamente. La causa más probable es el polvo entre el asiento y la bola selladora.
- Ajustar con la herramienta apropiada los accesorios de compresión de cobre que derramen agua.
- Si no se va a utilizar el equipo por un largo período, el conjunto del tubo de Pitot debe ser removido y almacenado en un lugar seguro. Ver el manual para la extracción correcta en la sección de instalación.
- Este equipo tiene un dispositivo de protección para el operador denominado Interruptor de circuito por fuga a tierra, que corta la alimentación cuando alguien se está electrocutando.
- Por lo menos una vez al **MES** chequear que el RCD está operando correctamente, presionando el botón TEST. El interruptor del circuito debe disparar cuando se presiona este botón, sino el operador no está protegido y por lo tanto debe repararse por un electricista competente antes de usarlo.

❖ **Unidad de recirculación de aire acondicionado**

Obtenido de: Recirculating Air conditioning unit, Instruction Manual RA3, Issue 8, october 2015

- Por lo menos una vez al **MES** chequear que el RCD está operando correctamente, presionando el botón TEST. El interruptor del circuito debe disparar cuando se presiona este botón, sino el operador no está protegido y por lo tanto debe repararse por un electricista competente antes de usarlo.

Mantenimiento de rutina

- Se debe desconectar el equipo cuando no se lo use
- Se debe drenar el agua del contenedor cuando se guarde la unidad y cuando se vaya a dejar de usar por algunos días
- Calibrar los sensores de humedad relativa. Referirse al manual

- Calibrar los sensores de flujo de aire y temperatura. Referirse al manual (no es necesario, pero se puede)
- Limpieza del ducto de ventilación (ver procedimiento del manual pág. 34)
- Limpieza del transmisor de velocidad (ver procedimiento del manual pág.35)
- Limpieza de la caldera (ver procedimiento del manual pág.35)

❖ **Diesel engine CM12**

Mantenimiento de rutina

- El motor debe ser chequeado anualmente por personal calificado, siguiendo los lineamientos del manual del motor.
- Verificar antes de utilizar el motor, el nivel de aceite y de refrigerante
- Chequear anualmente la grasa de los cojinetes y del freno
- Chequear el acoplamiento flexible
- Comprobar el ajuste de los pernos de montaje del motor y del cojinete del freno de acuerdo con los valores del manual.

Manual del motor Volkswagen SDI:

- Cambiar filtro de aceite cuando se cambie el aceite
- Cambiar aceite cada 15000km o cada año (4,5 litros SAE 5W40, 5W50, 10W40 O 15W40)
- Cambiar filtro de aire cada 60000km
- Purgar el agua del filtro de combustible en cada cambio de aceite y sustituirlo cada 30000km

❖ **Túnel de viento ARMFIELD**

- Mantenimiento de rutina
- Se debe desconectar el equipo de la fuente eléctrica cuando no se usa
- Se debe drenar el agua antes de guardarlo
- El equipo debe limpiarse según sea necesario usando un paño húmedo, suave, que no derrame o una esponja.

- Se puede usar un detergente suave si es necesario. Los limpiadores destinados a baños de plástico y duchas también son adecuados. Evite el uso de productos de limpieza destinados específicamente al vidrio.
- Por lo menos una vez al **MES** chequear que el RCD está operando correctamente, presionando el botón TEST. El interruptor del circuito debe disparar cuando se presiona este botón, sino el operador no está protegido y por lo tanto debe repararse por un electricista competente antes de usarlo.
- El ventilador debe ser chequeado a intervalos regulares para asegurarse que está bien montado en el eje. El equipo debe estar apagado antes de comprobar el ventilador
- Reponer el agua del depósito del manómetro, antes drenar el agua vieja y limpiar el recipiente.
- No se requiere lubricar los cojinetes del motor

LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS

❖ **Milk analyzer Lactoscan**

Obtenido de: LASTOSCAN S Milk Analyzer Operation Manual, Agosto de 2016

- Enjuagar el analizador, de acuerdo con las alarmas recordatorias emitidas por el equipo (55 minutos después de apagarse o 15 minutos después de realizar una medición).
Una vez que aparezca el mensaje (time to start cleaning), poner en la porta muestras la solución alcalina de limpieza (1-3%). Presionar (Enter) para empezar el modo enjuague. Si existe la duda de que no se haya logrado la limpieza satisfactoriamente, se puede repetir el proceso.
- Realizar la limpieza completa del analizador al finalizar la jornada de trabajo, en la siguiente secuencia:
 1. Enjuague con solución alcalina
 2. Enjuague con agua
 3. Enjuague con solución ácida
 4. Enjuague con agua.
- Recordar que el manual indica que la razón principal del mal funcionamiento del equipo se debe a la limpieza deficiente después de los análisis.

❖ **Selladora de vacío Henkelman**

Obtenido de: Manual del usuario, Máquina de envasado al vacío, 2014

- **Diariamente:**
Limpiar la máquina con un paño suave y húmedo sin utilizar solventes.
- **Semanalmente**
Realizar las siguientes inspecciones:
Nivel de aceite; ejecutar el programa de limpieza de aceite; barras de sellado; perfil labio de silicona.
- **Semestral:**
Reemplazar las varillas de sellado y sustituir el perfil de labio de silicona.
- **Anualmente:**
Cambiar el aceite en la bomba de vacío (0.5 litros tipo: VM32) y reemplazar el filtro de salida del aceite.

MICROBIOLOGÍA DE ALIMENTOS

❖ **Autoclave Sturdy SA-300VF**

Actividades realizadas por el operador:

- Limpieza diaria con trapo húmedo de controles, indicadores, manijas y frente de la autoclave.
- Limpiar el filtro del drenaje de la cámara de esterilización semanalmente.
- Limpiar internamente la cámara de esterilización, con productos de limpieza que no contengan cloro. (semanalmente)
- Limpiar las superficies externas con un detergente suave

Actividades realizadas por el responsable técnico del equipo:

Trimestral:

- Accionar las válvulas de seguridad manualmente para verificar que funcionen bien.
- Lubricar el empaque de la puerta de acuerdo con las especificaciones del fabricante, con el lubricante recomendado.
- Verificar el estado de los sellos de las válvulas de seguridad
- Limpiar el interior del generador de vapor

Anual:

- Limpiar todos los filtros
- Desmontar, limpiar y ajustar las válvulas de seguridad
- Realizar un proceso de esterilización de prueba para verificar que todas las medidas, como temperatura y presión, se encuentren dentro de los parámetros establecidos por el fabricante.
- Efectuar también las rutinas trimestrales.
- Mantenimiento de válvula solenoide si se requiere.

❖ **Autoclave All American 75X**

Obtenido de: All American Operating Instructions, febrero de 2009

- Diariamente quitar el agua, enjuagar y secar la autoclave cuando se termine de usar.
- Limpiar el tapón de sobrepresión diariamente.
- Limpiar el sello de metal a metal
- Lubricar con una fina capa el sello de metal a metal cada tres o cuatro usos con grasa de alto vacío. Un sustituto puede ser la vaselina o el aceite mineral.
- Limpiar la válvula de control periódicamente.
- Limpiar el tubo de aire de escape por lo menos una vez al mes.
- Se recomienda reemplazar la válvula de seguridad de exceso de presión cada tres años. (pieza 2050CS)
- Se recomienda cambiar el tapón de sobrepresión cada seis meses, o cuando se encuentre duro o deforme.

❖ **Incubadora Quincy Lab modelo 12-140**

- Limpiar con paño húmedo las superficies exteriores e interiores. La puerta de acrílico no debe ser limpiada con limpiadores de uso general, pues producen agrietamientos en la superficie con el tiempo.
- Comprobar periódicamente la estabilidad de la temperatura (con la unidad vacía), observando la temperatura a través de varios ciclos del termostato.

❖ **Esterilizador Memmert UM-500**

- Limpieza periódica de la cámara interior. En las superficies metálicas de acero inoxidable se puede utilizar limpiadores convencionales. Las partes de plástico y el panel de mando no deben limpiarse con productos que contengan disolventes.
- Lubricar las piezas móviles de las puertas una vez por año (4 veces por año si el servicio es permanente) utilizando grasa fina de silicona.

❖ **Refrigeradores**

- Limpieza interior trimestral.
- Limpieza del condensador cada seis meses.
- Revisar el estado del empaque de la puerta.
- Descongelar (si se requiere)

LABORATORIO DE MÁQUINAS HERRAMIENTAS

❖ **Compresor de aire**

Parte	Actividad	Frecuencia
sistema de lubricación	controlar nivel aceite	1 semana(s)
tanque de aire\ válvula de drenaje	abrir p/eliminar acumulación agua	1 semana(s)
	limpieza y revisión general de fugas	1 mes(es)
filtros	limpiar y cambiar si es necesario	1 mes(es)
manómetros	revisar funcionamiento	1 mes(es)
motor\ cojinetes	lubricar y evaluar	1 mes(es)
sistema de refrigeración	limpiar y evaluar funcionamiento	1 mes(es)

válvulas de seguridad	probar funcionamiento	2 mes(es)
motor	limpieza y evaluación gral	3 mes(es)
motor\ bandas y poleas	revisión general	3 mes(es)
tanque de aire	inspección interna y externa	3 mes(es)
tuberías y conexiones	limpiar y revisar	3 mes(es)
	evaluar compresión	6 mes(es)
motor	medir resistencia de aislamiento	6 mes(es)
sistema de lubricación	cambiar aceite	6 mes(es)
tanque de aire	limpieza interior	1 año(s)
válvulas de seguridad	inspección interna y graduar	1 año(s)
motor	mantenimiento mayor	2 año(s)

Fuente: Librerías del GMAO

❖ Torno convencional

Parte	Actividad	Frecuencia
cabezal	comprobar nivel aceite	2 semana(s)
cabezal\ husillo principal\ chumacera	chechar temperatura	2 semana(s)
caja avance\ engrane avance longitudinal	lubricar y limpiar	2 semana(s)
caja norton	comprobar nivel aceite	2 semana(s)
cremallera longitudinal	lubricar y limpiar	2 semana(s)
delantal	comprobar nivel aceite	2 semana(s)
	limpiar perfectamente	6 semana(s)
sistema eléctrico\ motor	limpiar	6 semana(s)
	revisar alineamiento	3 mes(es)
cabezal\ depósito\ filtro	limpiar	3 mes(es)
caja avance\ depósito\ filtro	limpiar	3 mes(es)
delantal\ depósito\ filtro	limpiar	3 mes(es)
sistema eléctrico\ botones	revisar	3 mes(es)
sistema eléctrico\ interruptores\ contactos	revisar y cambiar si necesario	3 mes(es)
sistema eléctrico\ relevadores	revisar	3 mes(es)
	verificar nivelación	1 año(s)
bandas	revisar y cambiar si es necesario (*)	1 año(s)
cabezal\ depósito	cambiar aceite	1 año(s)
caja avance\ depósito	cambiar aceite	1 año(s)
delantal\ depósito	cambiar aceite	1 año(s)
sistema eléctrico\ motor	revisar y reacondicionar	1 año(s)

Fuente: Librerías del GMAO

❖ Fresadora universal

Parte	Actividad	Frecuencia
apoyo brazo soporte	revisar nivel aceite	1 mes(es)
guía longitudinal	lubricar	1 mes(es)
guía transversal	lubricar	1 mes(es)

guías consola	lubricar	1 mes(es)
montante	revisar nivel aceite	1 mes(es)
sinfín avances	lubricar y limpiar	1 mes(es)
	limpiar perfectamente	3 mes(es)
	revisar alineamiento y/o alinear	3 mes(es)
bomba soluble	revisar funcionamiento	3 mes(es)
bombas lubricación	revisar	3 mes(es)
sistema eléctrico\ fusibles	revisar	3 mes(es)
sistema eléctrico\ interruptores	revisar	3 mes(es)
sistema eléctrico\ interruptores\ contactos	revisar y cambiar si necesario	3 mes(es)
sistema eléctrico\ motor de avances	revisar	3 mes(es)
sistema eléctrico\ motor eléctrico	limpiar	3 mes(es)
sistema eléctrico\ relevadores	revisar	3 mes(es)
mesa\ mecanismo de avance\ depósito de aceite	limpieza y cambiar aceite	6 mes(es)
mesa\ mecanismo de avance\ depósito de aceite\ filtro	limpiar	6 mes(es)
montante\ depósito aceite	limpieza y cambio aceite	6 mes(es)
montante\ depósito aceite\ filtro	limpiar	6 mes(es)
	comprobar correcto funcionamiento	1 año(s)
bandas	verificar y cambiar si necesario	1 año(s)
sistema eléctrico\ motor de avances	revisar y reacondicionar	1 año(s)
sistema eléctrico\ motor eléctrico	revisar y reacondicionar	1 año(s)

Fuente: Librerías del GMAO

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

❖ **BioTek Synergy HTX**

Tareas para modelos synergy HT sin inyectores

- Limpiar todas las superficies expuestas cada vez que se lo requiera (ver procedimiento en el manual del equipo).
- Inspeccionar y limpiar los filtros de excitación y emisión cada tres meses.
- Descontaminar antes de guardarlo (ver procedimiento en el manual del equipo)

Tareas para modelos synergy HT con inyectores

- Limpiar todas las superficies expuestas cada vez que se lo requiera (ver procedimiento en el manual del equipo).
- Inspeccionar y limpiar los filtros de excitación y emisión cada tres meses.
- Enjuagar o purgar los conductos de fluido diariamente.
- (opcional) Ejecutar el protocolo de dispensación cuando se lo requiera.
- Vaciar o limpiar la canaleta de cebado diariamente
- Limpiar la placa de cebado cuando se lo requiera
- Limpiar la tubería de dispensación interna y cabezas de los inyectores cada tres meses.
- Limpiar sondas ópticas cada tres meses.
- Limpiar superficies internas cada tres meses o antes si se requiere.
- Descontaminar antes de guardarlo (ver procedimiento en el manual del equipo).

❖ **Baño maría con agitación**

- Limpieza general una vez al mes.
- Lubricación del eje del motor con aceite mineral diariamente.

LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA

❖ **Baño María Aqua Bath**

Vaciar y limpiar la unidad

Por favor tenga en cuenta que el acero inoxidable puede, y se oxida si no se limpia regularmente y se mantiene adecuadamente. Se recomienda que el baño se limpie al menos en una base mensual, para instalaciones de uso pesado.

Siga estos pasos para vaciar y limpiar la unidad después de usarla:

- Apague la unidad, desenchufe la unidad y deje que se enfríe completamente.
- Si tiene un baño de agua de 2 o 5 litros de capacidad, vierta el líquido de la unidad en un recipiente de eliminación apropiado.

- Si tiene un baño de agua de mayor tamaño, deje que la unidad se enfríe y use una bomba o sifón para vaciar la unidad en un recipiente de eliminación apropiado.
- Retire la bandeja del difusor de la parte inferior de la cámara del baño. (Nota: mientras limpia la cámara, tenga cuidado de no doblar el tubo capilar de control de temperatura que se encuentra a lo largo de la parte inferior de la cámara del baño).
- Limpie el interior del baño de agua con un detergente suave (como el detergente lavavajillas) y agua tibia.
- No frote ninguna superficie con lana de acero. (La lana de acero deja pequeñas partículas de metal que se oxidan, haciendo que el molde se vea oxidado). En los casos en que se haya acumulado un revestimiento de residuos pesados en el interior del tanque o cuando haya evidencia de que la corrosión está comenzando, se recomienda el uso de un limpiador de acero inoxidable (como limpiador de acero inoxidable 3M y abrillantador).
- Enjuague y limpie todas las superficies del tanque con agua destilada. El baño está listo para su uso.

❖ **Soxhlet**

Mantenimiento preventivo, correctivo y conservación

Limpieza y conservación

Para limpieza del cuerpo del aparato utilice un paño con lustra muebles. Si está muy impregnado, use pasta de pulir.

❖ **Sorbona**

Mantenimiento preventivo, correctivo y conservación

Limpieza y conservación

Para limpieza no utilizar productos abrasivos o solventes, solamente agua y jabón neutro. Debido a la presencia de productos condensados y polvo en el eje de ventilación, siempre que conecte el motor, verifique que se hayan ido.

Mantenimiento

Si el motor no sale, quitar la tapa protectora y hacer limpieza en el casquillo (orificio en la plataforma por donde pasa el eje), si no hay suciedad depositada, coloque unas gotas de aceite SAE 20/40.

El motor se puede conectar momentáneamente, pero para usarlo normalmente, vuelva a colocar la taza (cubierta protectora); normalmente hay condensación en el tubo de salida o en el recorrido del mismo.

❖ Viscosímetro (auxiliar de pipeteado)

Mantenimiento y limpieza

- Bajo condiciones normales de uso, el aparato no requiere mantenimiento.
- La carcasa puede limpiarse ocasionalmente con un paño húmedo.
- El auxiliar de pipeteado completo es autoclavable (120°C, 2 bar, t=20min.).
- El filtro de membrana se puede autoclavar como máximo 5 veces.
- Tiene un tamaño de poro de 3µm y es de un material hidrófobo; por tanto, se utilizará el filtro de nuevo después de haberlo secado.
- La efectividad del autoclavage debe ser comprobada en cada caso por el usuario.

ANEXOS D
ORDEN DE TRABAJO

Orden de Trabajo

Folio:

000001



del 20-ago-2017 al 31-ago-2017

Responsable:

Duración aproximada: 0 h 10 m

Generó: Usuario no registrado

Fecha y hora de recepción de la OT:

Revisó:

Fecha y hora de devolución de la OT:

Autorizó:

ANALIZADOR DE MICROPLACA BIO-TEK SYNERGY HTX {106498}

Localización: \ Laboratorio de investigación y desarrollo
Equipo padre:
Prioridad: Baja
Clasificación 1:
Clasificación 2:
Centro de costo:



Biotek

Actividades rutinarias

actividades diarias

Frecuencia: 1 Semana(s)
Duración aproximada: 0 h 10 m
Requiere paro: No

Prioridad: Baja
Clasificación 1:
Clasificación 2:

Procedimiento:

- Limpiar todas las superficies expuestas cada vez que se lo requiera (ver procedimiento en el manual del equipo).
- Enjuagar o purgar los conductos de fluido diariamente.
- (opcional) Ejecutar el protocolo de dispensación cuando se lo requiera.
- Vaciar o limpiar la canaleta de cebado diariamente
- Limpiar la placa de cebado cuando se lo requiera
- Descontaminar antes de guardarlo (ver procedimiento en el manual del equipo).

30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

ANEXOS E

LAYOUTS

LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS

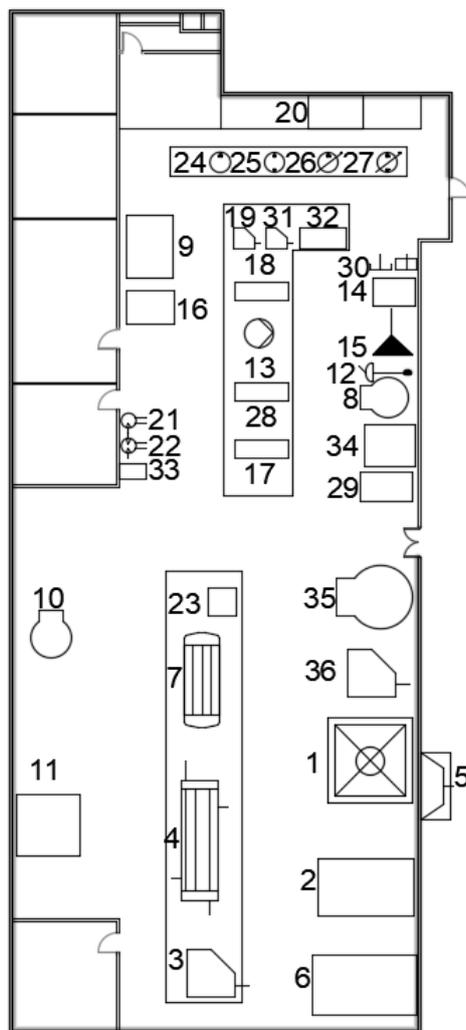


Figura E. 1 Layout del laboratorio de Termofluidos.

Fuente: Elaboración propia

Tabla E. 1 Ubicación de los equipos de Termofluidos

Número	Nombre
1	Caldera de 10 Bar
2	Súper calentador
3	Turbina de vapor
4	Condensador de superficie
5	Torre de enfriamiento
6	Planta de tratamiento de agua
7	Intercambiador de calor
8	Motor de 4 tiempos a Diesel
9	Equipo de aire acondicionado didáctico

10	Motor de cuatro tiempos
11	Banco de prueba con motor de 4 cilindros a gasolina
12	Taladro eléctrico de pedestal
13	Banco de bomba
14	Banco óleo Hidráulico
15	Circuito Hidráulico
16	Túnel de humo
17	Túnel subsónico de Viento
18	Túnel supersónico de Viento
19	Turbina Pelton
20	Equipo de Flujo Laminar y Turbulento
21	Compresor de aire de 1ra. etapa
22	Compresor de aire de 2da. etapa
23	Equipo de convección natural y radiación
24	Unidad de demostración de bomba centrífuga
25	Unidad de demostración de bomba de émbolo
26	Unidad de demostración de ventilador centrífugo
27	Unidad de demostración de ventilador axial
28	Túnel de viento
29	Medición de fricción de fluido
30	Banco Hidráulico
31	Turbina Francis
32	Unidad de recirculación de aire acondicionado
33	Unidad de refrigeración por compresión
34	Banco de prueba de motores de combustión interna
35	Motor Diesel
36	Turbina a gas

Fuente: Elaboración propia

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

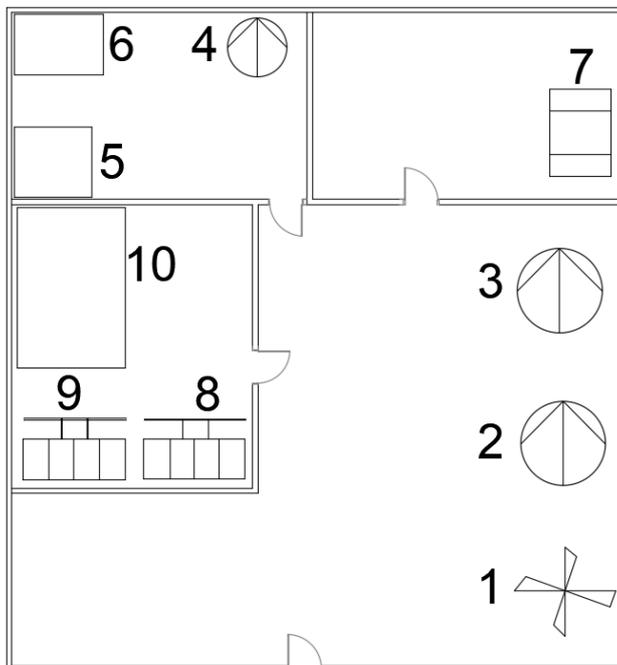


Figura E. 2 Layout del laboratorio de Investigación y Desarrollo.
Fuente: Elaboración propia

Tabla E. 2 Ubicación de los equipos de Investigación y Desarrollo.

Numero	Nombre
1	Enfriador doméstico
2	Centrífuga
3	Centrífuga
4	Centrífuga
5	Biotek
6	Texturómetro
7	Baño María con agitación
8	Estufa Universal
9	Estufa digital
10	Sorbona

Fuente: Elaboración propia

LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA DE ALIMENTOS

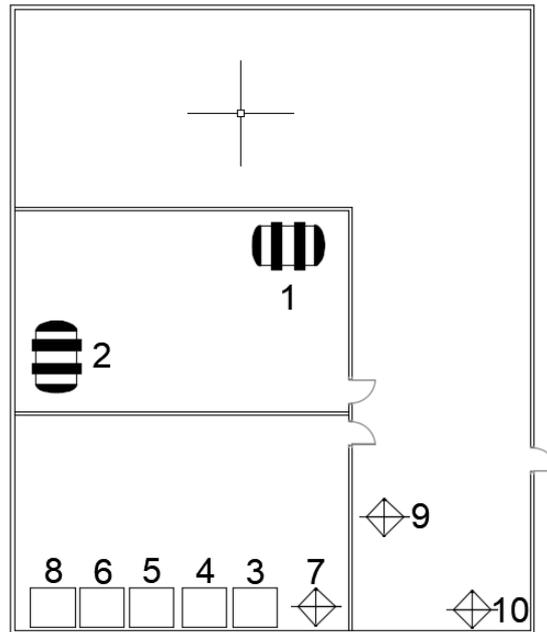


Figura E. 3 Layout del laboratorio de Microbiología de Alimentos.
Fuente: Elaboración propia

Tabla E. 3 Ubicación de los equipos de Microbiología de Alimentos.

Número	Nombre
1	Autoclave
2	Autoclave
3	Incubadora
4	Incubadora
5	Incubadora
6	Incubadora
7	Refrigerador
8	Esterilizador
9	Refrigerador
10	Refrigerador

Fuente: Elaboración propia

LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS

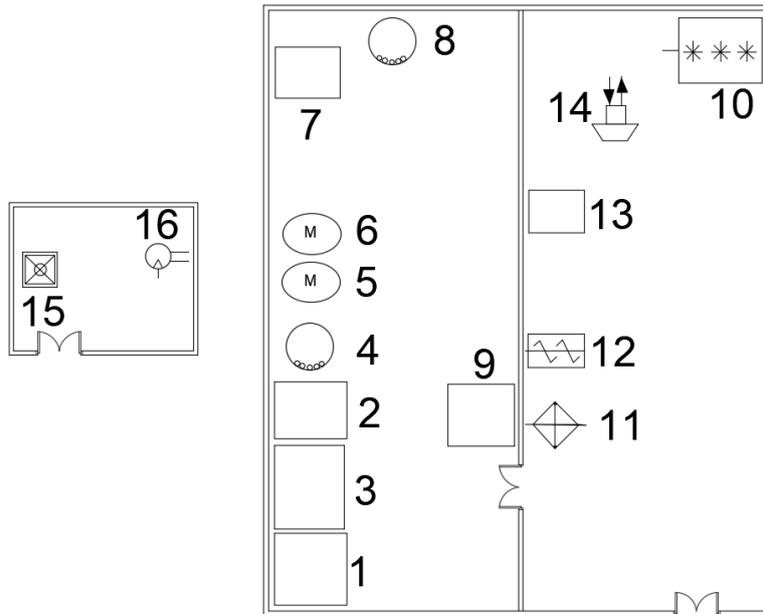


Figura E. 4 Layout del laboratorio de Operaciones Unitarias.
Fuente: Elaboración propia

Tabla E. 4 Ubicación de los equipos de Operaciones Unitarias.

Número	Nombre
1	Horno de gas
2	Spray Dryer
3	Despulpadora de frutas
4	Molino
5	Marmita
6	Marmita
7	Evaporador de película ascendente
8	Molino de alimentos
9	Incubadora
10	Congelador
11	Refrigerador
12	Amasadora
13	Milk Analyzer
14	Selladora de vacío
15	Caldero
16	Compresor de aire

Fuente: Elaboración propia

LABORATORIO CAMPRO

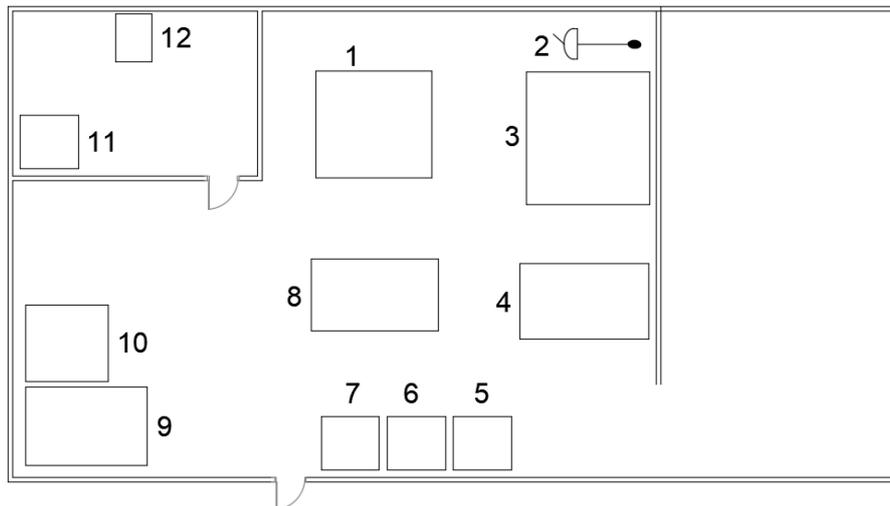


Figura E. 5 Layout del laboratorio CAMPRO.

Fuente: Elaboración propia

Tabla E. 5 Ubicación de los equipos de CAMPRO.

Número	Nombre
1	Fresadora Universal
2	Taladro de Pedestal
3	Fresadora CNC
4	Torno CNC
5	Fresadora CNC
6	Fresadora CNC
7	Fresadora CNC
8	Torno paralelo
9	Cortadora de hilo
10	Impresora 3D cerámicos
11	Impresora 3D
12	Escáner 3D

Fuente: Elaboración propia

LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA

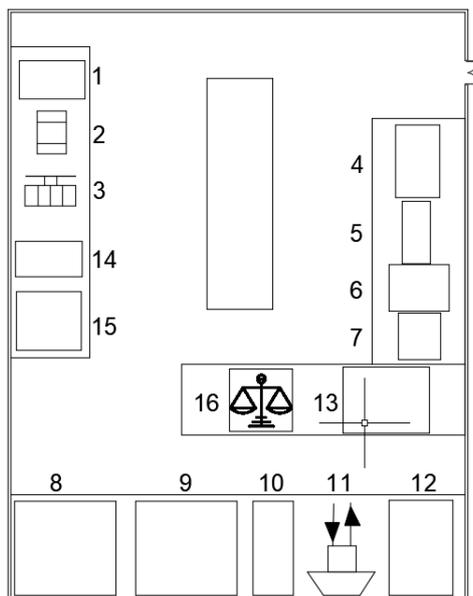


Figura E. 6 Layout del laboratorio de Bromatología.
Fuente: Elaboración propia

Tabla E. 6 Ubicación de los equipos de Bromatología.

Número	Nombre
1	Espectrofotómetro
2	Baño María
3	Estufa universal
4	Microscopio biológico
5	Viscosímetro
6	Termobalanza (humidímetro)
7	PhMetro
8	Destilador de agua
9	Unidad destiladora
10	Soxhlet
11	Bomba de vacío
12	Unidad digestora
13	Extractor de humos ácidos
14	Mufila
15	Homogeneizador
16	Balanza Analítica
17	Refrigeradora

Fuente: Elaboración propia