



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**PROGRAMA DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO-PREVENTIVO-
PREDICTIVO, PARA EL EQUIPO EXPERIMENTAL, DEL LABORATORIO DE
OPERACIONES UNITARIAS**

Hugo Rolando Ixcot Rodríguez

Asesorado por el Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

Guatemala, abril de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROGRAMA DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO-PREVENTIVO-
PREDICTIVO, PARA EL EQUIPO EXPERIMENTAL, DEL LABORATORIO DE
OPERACIONES UNITARIAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

HUGO ROLANDO IXCOT RODRÍGUEZ

ASESORADO POR EL ING. HUGO HUMBERTO RIVERA PÉREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, ABRIL DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortíz de León
VOCAL V	P.A. José Alfredo Ortíz Herincx
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Alberto Eulalio Hernández
EXAMINADORA	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
EXAMINADOR	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO-PREVENTIVO- PREDICTIVO, PARA EL EQUIPO EXPERIMENTAL, DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 18 de mayo de 2010.


HUGO ROLANDO IXCOT RODRÍGUEZ

Guatemala, 9 de febrero del 2011

Ingeniero

César Ernesto Urquizú Rodas

Director

Escuela Ingeniería Mecánica Industrial

Estimado Ingeniero Urquizú:

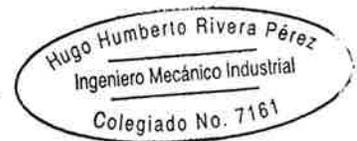
El motivo de la presente carta es para comunicarle que como asesor del Trabajo de Graduación titulado "PROGRAMA DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO – PREVENTIVO – PREDICTIVO, PARA EL EQUIPO EXPERIMENTAL, DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS", correspondiente al estudiante Hugo Rolando Ixcot Rodríguez con número de carné 200611133 de la carrera de Ingeniería Mecánica Industrial, doy por revisado y aprobado dicho Trabajo de Graduación.

Atentamente,



Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

No. Colegiado 7,161





REF.REV.EMI.047.011

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **PROGRAMA DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO-PREVENTIVO-PREDICTIVO, PARA EL EQUIPO EXPERIMENTAL, DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS**, presentado por el estudiante universitario **Hugo Rolando Ixcot Rodríguez**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

*Nora Leonor Elizabeth García Tobar
Ingeniera Industrial
Colegiado No. 8121*

Inga. Nora Leonor Elizabeth García Tobar
Catedrática Revisora de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, marzo de 2011.

/mgp



REF.DIR.EMI.043.011

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **PROGRAMA DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO-PREVENTIVO-PREDICTIVO, PARA EL EQUIPO EXPERIMENTAL, DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS**, presentado por el estudiante universitario **Hugo Rolando Ixcot Rodríguez**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Cesar Ernesto Urquizú Rodas
DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, abril de 2011.

/mgp



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de *conocer* la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **PROGRAMA DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO-PREVENTIVO-PREDICTIVO, PARA EL EQUIPO EXPERIMENTAL, DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS**, presentado por el estudiante universitario **Hugo Rolando Ixcot Rodríguez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

A handwritten signature in black ink, consisting of a large loop at the top and a vertical stroke extending downwards.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, abril de 2011

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por brindarme la fuerza y sabiduría para poder conducirme en el camino correcto para llegar a cumplir esta meta el día de hoy, y a la vez por bendecirme con la familia y amigos que me ha dado.

Mis padres

Hugo Ixcot y Ana Rodríguez, por su apoyo incondicional que me han dado en cada momento de mi vida. Además por brindarme sus consejos, valores y experiencias que me han llevado a ser la persona que soy hoy en día.

Mis hermanos

Mónica Elizabeth, Ana Lucrecia, Jorge Armando y Lester Alberto Ixcot Rodríguez; por estar siempre presentes a mi lado, apoyándome y alentándome a seguir adelante.

Mis abuelos

Bernardo Ixcot Coyoy, Alberta Eugenia Oroxóm Coyoy (q.e.p.d.), Eduarda Rodríguez Godínez (q.e.p.d.) y José Rodríguez García (q.e.p.d.); porque han representado y siempre representarán una parte fundamental en mi vida ya que ellos siempre me han brindado todo su amor, apoyo y sabiduría. Y aunque tres de ellos ya no están presentes con nosotros, yo de igual manera les dedico este logro con todo mi corazón.

Mis amigos

Que a lo largo de mi carrera y otros aún antes de mi carrera, han estado conmigo codo a codo luchando para poder cumplir con nuestras metas comunes e individuales, y que además han estado ahí para poder volver más alegre y divertida esta etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

**La Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por permitirme crecer y aprender tanto a nivel personal como profesional dentro de sus aulas.

**Ing. Hugo Humberto
Rivera Pérez**

Por guiarme, apoyarme y brindarme parte de su tiempo en la asesoría del presente trabajo de graduación.

Ing. José Manuel Tay

Por abrirme las puertas del Laboratorio de Operaciones Unitarias y además por darme su apoyo y asesoría para poder elaborar este trabajo de graduación.

**Ing. Max Donis y Jairo
Quevedo**

Por su constante apoyo y motivación a lo largo de mi vida universitaria.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XV
GLOSARIO.....	XIX
RESUMEN.....	XXIII
OBJETIVOS	XXV
INTRODUCCIÓN.....	XXVII
1. ANTECEDENTES GENERALES	
1.1. Generalidades del laboratorio de Operaciones Unitarias.....	1
1.1.1. Historia.....	1
1.1.2. Misión.....	2
1.1.3. Visión.....	3
1.1.4. Objetivos.....	3
1.1.5. Descripción de actividades del laboratorio.....	4
1.1.6. Descripción de jornadas de trabajo.....	5
1.2. Base teórica.....	6
1.2.1. Definición de mantenimiento industrial.....	6
1.2.2. Definición de mantenimiento correctivo.....	9
1.2.3. Definición de mantenimiento preventivo.....	11
1.2.4. Definición de mantenimiento predictivo.....	20
1.2.5. Indicadores de mantenimiento.....	27
1.2.6. Órdenes de trabajo.....	36
1.2.7. Diagrama causa-efecto.....	40

2.	DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN ACTUAL	
2.1.	Inventario general del equipo.....	45
2.1.1.	Elaboración de formato de ficha técnica.....	45
2.1.2.	Recolección de información técnica.....	50
2.2.	Evaluación del equipo en operación.....	53
2.2.1.	Elaboración de formato de evaluación operacional.....	53
2.2.2.	Recolección de datos de evaluación operativa.....	55
2.3.	Establecimiento y aplicación de indicadores de rendimiento de equipos.....	56
2.4.	Cálculo de tiempo de utilización de los equipos.....	57
2.4.1.	Elaboración de formato de horas de trabajo del equipo.....	57
2.4.2.	Determinar horas de trabajo promedio de los equipos.....	59
2.5.	Diagnóstico situacional de los equipos.....	59
2.6.	Organización actual del mantenimiento.....	68
2.6.1.	Tipo de servicio de mantenimiento proporcionado a los equipos.....	68
2.6.2.	Recursos utilizados en actividades de mantenimiento.....	68
3.	PROGRAMA DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO-PREVENTIVO -PREDICTIVO PARA EL EQUIPO EXPERIMENTAL	
3.1.	Desarrollo del programa de mantenimiento correctivo.....	71
3.1.1.	Elaboración de formato de solicitud de mantenimiento.....	71
3.1.2.	Elaboración de formato de orden de trabajo.....	73
3.1.3.	Establecer diagramas causa-efecto.....	75
3.1.4.	Determinación de recursos en base a diagramas causa-efecto.....	77
3.1.4.1.	Repuestos e insumos necesarios.....	77
3.1.4.2.	Personal óptimo necesario.....	78

3.1.4.3.	Tiempo requerido.....	78
3.1.4.4.	Costos aproximados.....	79
3.2.	Desarrollo del programa de mantenimiento preventivo.....	79
3.2.1.	Priorización de mantenimiento de equipos inventariados.....	79
3.2.1.1.	Definición de parámetros de priorización.....	79
3.2.1.2.	Establecimiento de niveles de priorización.....	80
3.2.1.3.	Clasificación de los equipos según niveles de priorización.....	82
3.2.2.	Identificación de actividades de mantenimiento preventivo.....	90
3.2.2.1.	Actividades de mantenimiento preventivo por equipo.....	90
3.2.2.2.	Periodicidad de actividades de mantenimiento preventivo.....	91
3.2.2.3.	Determinación de recursos necesarios.....	96
3.2.2.4.	Determinación aproximada de costos de recursos.....	97
3.2.3.	Diseño de formatos de mantenimiento preventivo.....	99
3.2.3.1.	Ficha técnica.....	99
3.2.3.2.	Historial de fallas.....	100
3.2.3.3.	Órdenes de trabajo planificadas y no planificadas.....	102
3.2.3.4.	Órdenes de inspección y visitas.....	102
3.2.3.5.	Hojas de control de horas de trabajo del equipo.....	105
3.2.4.	Procedimiento para llevar a cabo el mantenimiento preventivo.....	105
3.2.4.1.	Planeación de visitas e inspecciones.....	105

3.2.4.2.	Uso de historial de fallas.....	108
3.2.4.3.	Uso de órdenes de trabajo planificadas y no planificadas.....	110
3.2.4.4.	Uso de hojas de control de horas de trabajo del equipo.....	114
3.3.	Desarrollo del programa de mantenimiento predictivo.....	116
3.3.1.	Establecimiento de periodicidad del mantenimiento.....	116
3.3.2.	Identificación de pruebas predictivas comunes para cada equipo.....	119
3.3.3.	Estimación de oferentes de pruebas predictivas.....	121
3.3.4.	Estimación aproximada de costos de pruebas predictivas.....	123
3.3.5.	Elaboración de formatos de mantenimiento predictivo...	124
3.3.5.1.	Solicitud de pruebas predictivas.....	124
3.3.5.2.	Órdenes de trabajo.....	124
4.	IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA	
4.1.	Cálculo de recursos mínimos necesarios para la implementación.....	127
4.1.1.	Cálculo de personal mínimo necesario.....	127
4.1.2.	Cálculo de <i>stock</i> mínimo de repuestos e insumos.....	134
4.1.3.	Costos aproximados de personal y <i>stock</i> de repuestos e insumos.....	135
4.1.4.	Creación de un fondo monetario de respaldo.....	137
4.2.	Organización administrativa del mantenimiento.....	137
4.2.1.	Estructura del personal operativo y administrativo de mantenimiento.....	137
4.2.2.	Descripción de funciones del personal operativo de mantenimiento.....	138

4.2.3.	Descripción de funciones del personal administrativo de mantenimiento.....	139
4.3.	Definición de procedimientos de aplicación.....	140
4.3.1.	Flujograma sobre procedimientos para el programa de mantenimiento correctivo.....	140
4.3.2.	Flujograma sobre procedimientos para el programa de mantenimiento preventivo.....	143
4.3.3.	Flujograma sobre procedimientos para el programa de mantenimiento predictivo.....	146
4.4.	Divulgación de procedimientos de los programas de mantenimiento.....	149
4.4.1.	Charla informativa a estudiantes que utilizan el laboratorio.....	149
4.4.2.	Charla informativa a personal docente y administrativo del laboratorio.....	150
5.	MEDIO AMBIENTE	
5.1.	Desarrollo de problemas medio-ambientales.....	151
5.1.1.	Emanaciones de humo de la caldera.....	151
5.1.2.	Desecho de residuos sólidos originados por el mantenimiento.....	152
5.1.3.	Desecho de agua residual de la caldera.....	157
5.1.4.	Almacenamiento de sustancias peligrosas.....	158
5.2.	Mitigación de problemas medio-ambientales.....	161
5.2.1.	Emanaciones de humo de la caldera.....	161
5.2.1.1.	Determinar elementos contaminantes en los gases.....	161
5.2.1.2.	Control de elementos de combustión.....	162

5.2.2.	Desecho de residuos sólidos originados por el mantenimiento.....	166
5.2.2.1.	Clasificación de los desechos en contenedores diferentes.....	166
5.2.2.2.	Elección de disposición final óptima.....	169
5.2.2.3.	Capacitación del personal.....	171
5.2.3.	Desecho de aguas residuales de la caldera.....	172
5.2.3.1.	Determinar la composición del agua residual para identificar posibles sustancias peligrosas.....	172
5.2.3.2.	Elegir método de tratamiento del agua óptimo.....	173
5.2.3.3.	Capacitación del personal.....	177
5.2.4.	Almacenamiento de sustancias peligrosas.....	178
5.2.4.1.	Determinar el lugar óptimo para el almacenaje.....	178
5.2.4.2.	Selección adecuada de contenedores para almacenamiento.....	180
5.2.4.3.	Capacitación del personal.....	186
6.	SEGUIMIENTO Y MEJORA	
6.1.	Propuesta de parámetros de medición para indicadores de mantenimiento.....	189
6.2.	Formulación de propuestas de corrección para valores bajos de indicadores de mantenimiento.....	190
6.3.	Base de datos digital del mantenimiento.....	192
6.3.1.	Definir la información necesaria para crear una hoja dinámica en <i>Excel</i>	192
6.3.2.	Crear modelo de hoja dinámica en <i>Excel</i>	193

CONCLUSIONES.....	209
RECOMENDACIONES.....	213
BIBLIOGRAFÍA.....	215
ANEXOS.....	219

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Ejemplo de gráfico de control creado con datos de monitorización de variables físicas.....	25
2	Viejo paradigma del mantenimiento.....	32
3	Nuevo paradigma sobre el mantenimiento.....	32
4	Ejemplo de un diagrama causa-efecto.....	41
5	Proceso para la elaboración de un diagrama causa-efecto.....	43
6	Propuesta de ficha técnica individual de equipos.....	47
7	Propuesta de ficha técnica general de equipos.....	49
8	Ejemplo de llenado de ficha técnica individual de equipos.....	51
9	Ejemplo de llenado de ficha técnica general de equipos.....	52
10	Propuesta de formato de evaluación operacional.....	54
11	Propuesta del modelo para el control de horas de trabajo de equipos.....	58
12	Modelo propuesto para el desarrollo del método de diagnóstico de equipos.....	64
13	Ejemplo de utilización del modelo de hoja de cálculo para diagnóstico de equipos.....	67
14	Modelo de solicitud de servicio de mantenimiento propuesto.....	72
15	Modelo de orden de trabajo propuesto.....	74
16	Ejemplo de diagrama causa-efecto para una caldera pirotubular.....	76
17	Gráfica de apoyo para análisis de criticidad de equipos.....	81
18	Modelo de encuestas para análisis de criticidad.....	84
19	Gráfica resultante del análisis de criticidad de equipos.....	89

20	Actividades mensuales de mantenimiento preventivo para una caldera pirotubular.....	93
21	Actividades semestrales de mantenimiento preventivo para una caldera pirotubular, 1de 2.....	94
22	Actividades semestrales de mantenimiento preventivo para una caldera pirotubular, 2 de 2.....	95
23	Modelo de historial de fallas propuesto.....	101
24	Modelo de orden de visita o inspección propuesto.....	104
25	Ejemplo de calendarización de visitas e inspecciones.....	107
26	Flujo grama sobre el uso del modelo de historial de fallas.....	109
27	Flujo grama sobre el uso del modelo de órdenes de trabajo, 1 de 2.....	111
28	Flujo grama sobre el uso del modelo de órdenes de trabajo, 2 de 2.....	112
29	Identificación del campo Carácter dentro de la solicitud de servicio de mantenimiento propuesta.....	113
30	Identificación del campo Carácter dentro del modelo de orden de trabajo propuesto.....	113
31	Flujograma sobre el uso del formato de control de horas de trabajo de equipos.....	115
32	Logotipo de empresa de servicios de mantenimiento predictivo, DIATEC S.A.....	121
33	Aparatos para realizar análisis ultrasónicos.....	122
34	Cámaras infrarrojas para realizar termografías.....	122
35	Logotipo de empresa de servicios de mantenimiento predictivo, SIE LTDA.....	122
36	Identificación del campo tiempo empleado dentro del modelo de orden de trabajo propuesto.....	128
37	Estructura organizacional de personal de mantenimiento propuesto.....	138
38	Flujograma sobre procedimientos para el mantenimiento correctivo, 1 de 2.....	141

39	Flujograma sobre procedimientos para el mantenimiento correctivo, 2 de 2.....	142
40	Flujograma sobre procedimientos para el mantenimiento preventivo, 1 de 2.....	144
41	Flujograma sobre procedimientos para el mantenimiento preventivo, 2 de 2.....	145
42	Flujograma sobre procedimientos para el mantenimiento predictivo, 1 de 2.....	147
43	Flujograma sobre procedimientos para el mantenimiento predictivo, 2 de 2.....	148
44	Equipo empleado para realizar pruebas de comprobación de tiro en calderas.....	164
45	Comprobador de humo, aparato empleado en pruebas de humos de calderas.....	165
46	Aparato empleado en pruebas de CO ₂ en humos de calderas: (a) Comprobador de CO ₂ , (b) manera de medir CO ₂	166
47	Recipiente o tanque contenedor de diesel del Laboratorio de Operaciones Unitarias.....	180
48	Ejemplo de recipiente convencional para combustibles inflamables.....	182
49	Círculo de Deming o Círculo de Calidad.....	191
50	Cuadro de diálogo, crear tabla dinámica, en <i>MS Excel 2007</i>	195
51	Cuadro de diálogo, lista de campos de tabla dinámica, en <i>MS Excel</i> <i>2007</i>	196
52	Elementos de la barra de herramientas de <i>MS Excel</i> : (a) nombre de tabla dinámica, (b) icono opciones.....	197
53	Cuadro de diálogo, opciones de tabla dinámica, en <i>MS Excel</i>	197
54	Distribución de campos dentro del cuadro de diálogo, lista de campos de tabla dinámica.....	198
55	Modelo de tabla dinámica parcialmente terminada.....	199

56	Tabla dinámica con nombres de campo cambiados.....	199
57	Procedimiento para mover verticalmente una casilla dentro de la tabla dinámica.....	200
58	Tabla dinámica totalmente terminada, <i>MS Excel 2007</i>	201
59	Procedimiento para filtrar contenido de filas de una tabla dinámica.....	202
60	Tabla dinámica con valores de fila filtrados.....	202
61	Procedimiento para filtrar contenido de columnas de una tabla dinámica.....	203
62	Tabla dinámica con valores de columna y fila filtrados.....	203
63	Procedimiento para graficar datos de tablas dinámicas.....	204
64	Cuadro de diálogo, panel de filtros del gráfico dinámico.....	205
65	Gráfico dinámico con datos de tabla dinámica sin filtrar.....	206
66	Gráfico dinámico con datos de trimestre, filas, filtrados.....	206
67	Gráfico dinámico con datos de indicador, columnas, filtrados.....	207
68	Gráfico dinámico con ambas filtraciones de datos, filas y columnas.....	207

TABLAS

I	Distribución de grupos y prácticas del laboratorio.....	5
II	Terminología empleada en prácticas del laboratorio.....	6
III	Escalas para selección de grado de calidad de equipos.....	61
IV	Factores y ponderaciones propuestos para el método de diagnóstico de equipos.....	62
V	Ponderaciones para tiempos de servicio de equipos propuestas.....	63
VI	Datos para ejemplo de método de diagnósticos de equipos.....	65
VII	Equipo seleccionado para desarrollo de análisis de criticidad.....	83
VIII	Ponderación de criterios de criticidad.....	85
IX	Personal del laboratorio de Operaciones Unitarias a encuestar.....	86
X	Resultados de análisis de criticidad.....	87

XI	Clasificación de equipos del Laboratorio de Operaciones Unitarias según niveles de criticidad.....	89
XII	Resumen de actividades de mantenimiento preventivo para una caldera pirotubular.....	91
XIII	Recursos mínimos para desarrollo de actividades preventivas mensuales de una caldera pirotubular.....	96
XIV	Recursos mínimos para desarrollo de actividades preventivas semestrales de una caldera pirotubular.....	97
XV	Análisis de costos anuales de recursos e insumos mínimos para el mantenimiento mensual de una caldera pirotubular.....	98
XVI	Análisis de costos anuales de recursos e insumos mínimos para el mantenimiento semestral de una caldera pirotubular.....	98
XVII	Pruebas predictivas para una caldera pirotubular.....	120
XVIII	Jornadas de trabajo empleadas en Guatemala.....	130
XIX	Cálculo de t_{rp} y t_s para visitas e inspecciones de mantenimiento preventivo de una caldera pirotubular.....	131
XX	Cálculo de t_{rp} y t_s para actividades semestrales de mantenimiento preventivo de una caldera pirotubular.....	132
XXI	Cálculo de t_{rp} y t_s para actividades mensuales de mantenimiento preventivo de una caldera pirotubular.....	133
XXII	Costos anuales aproximados de personal de mantenimiento propuesto.....	136
XXIII	Ejemplo de clasificación de residuos convencionales.....	168
XXIV	Ejemplo de clasificación de residuos especiales.....	169
XXV	Propuesta de parámetros de medición mínimos para indicadores de mantenimiento propuestos.....	190
XXVI	Pasos de la estrategia de mejora continua del círculo de Deming...	192
XXVII	Ejemplo de tabla de <i>MS Excel</i> necesaria para la creación de un hoja dinámica.....	193

XXVIII Datos para ejemplo de creación de tabla dinámica.....194

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Amp. / A.	Amperaje
a/c	Aire acondicionado
Hp	Caballos de fuerza
CMPM	Cantidad Mínima de Personal de Mantenimiento
H₂O	Composición química del agua
c.a.	Corriente alterna
c.c.	Corriente continua
CMPT	Costo de Mantenimiento por Facturación
CMRP	Costo de Mantenimiento por Valor de Reposición
Diap.	Diapositiva
CO₂	Dióxido de carbono
US\$	Dólar estadounidense
C_xH_yO_z	Ecuación química general de la materia orgánica
CH₄	Ecuación química del metano
C_nH_(2n+2)	Ecuación química general de los hidrocarburos
OEE	Eficiencia General de los Equipos
END	Ensayos No Destructivos
PT	Ensayo por Líquidos penetrantes
MT	Ensayo por partículas magnéticas
RT	Ensayo por radiografía industrial
UT	Ensayo por ultrasonido industrial
VT	Ensayo visual
Eq.	Equipo

°C	Grados centígrados
Hrs.	Horas
pH	Indicador de concentración de iones Hidronio (H_3O^+)
psi	Libras por pulgada cuadrada
ln	Logaritmo natural
MO	Mano de Obra
Mantto.	Mantenimiento
m	Metros
mm	Milímetros
Mod.	Modelo
O₂	Molécula de oxígeno
No.	Número
e	Número de Euler
λ	Número total de fallas
OT	Orden de trabajo
%	Porcentaje
”	Pulgadas
p.	Página
Q.	Quetzales
q.l.	Químicos líquidos
ROI	Retorno de la inversión
rpm	Revoluciones por minuto
GMAOS	Software de Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador
SSM	Solicitud de Servicio de Mantenimiento
Σ	Sumatoria de elementos
T_{ea}	Tiempo efectivo anual
t_s	Tiempo estándar
TMEF	Tiempo Medio Entre Fallas

TMPF	Tiempo Medio Para la Falla
TMPR	Tiempo Medio Para la Reparación
t_r	Tiempo registrado
t_{rp}	Tiempo registrado promedio
Volt. / V.	Voltaje

GLOSARIO

Accesorios	Elementos o componentes que forman parte del equipamiento complementario de una máquina o sistema y que no se usa de manera continuada sino cuando es requerido su servicio.
Almacenamiento	Acción de guardar, reunir o conservar cosas en gran cantidad.
Aprovechamiento	Todo proceso industrial y/o manual, cuyo objeto sea la recuperación o transformación de los recursos contenidos en los desechos.
Bomba	Máquina hidráulica que sirve para elevar o comprimir líquidos.
Capacitación	Proceso por el cual un individuo adquiere nuevas destrezas y conocimientos que promueven, fundamentalmente un cambio de actitud.
Desechos	Residuo, cosa inservible o resto que queda después de haber escogido o utilizado lo mejor y más útil de algo.

Disposición final	Es la operación final controlada y ambientalmente adecuada de los desechos sólidos, según su naturaleza.
Flujograma	Representación gráfica de un algoritmo o proceso. Utiliza símbolos con significados definidos que representan los pasos del algoritmo, y representan el flujo de ejecución mediante flechas que conectan los puntos de inicio y de término.
Insumos	Bienes que se utilizan para la producción de otros bienes.
Intercambiador de calor	Es un dispositivo diseñado para transferir calor entre dos medios, que estén separados por una barrera o que se encuentren en contacto.
Inventario	Relación ordenada y detallada del conjunto de bienes y demás cosas pertenecientes a una persona, una entidad o una comunidad.
Jornada de trabajo	Tiempo dedicado al trabajo diario o semanal.
Lixiviado	Líquido que se ha filtrado o percolado, a través de los residuos sólidos u otros medios, y que ha extraído, disuelto o suspendido materiales a partir de ellos, pudiendo contener materiales potencialmente dañinos.

Manómetro	Instrumento de medición destinado a determinar la presión relativa en líquidos y gases.
Mantenimiento	Conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que una instalación pueda seguir funcionando adecuadamente.
<i>Outsourcing</i>	Palabra en inglés que significa subcontratación. Es el proceso económico en el cual una empresa determinada mueve o destina los recursos orientados a cumplir ciertas tareas, a una empresa externa, por medio de un contrato.
Periodicidad	Se le denomina así, a la repetición regular o a cada cierto tiempo establecido.
Presión	Fuerza ejercida sobre una unidad de superficie.
Priorizar	Es el proceso de dar prioridad o preferencia por algo.
Reciclaje	Es un proceso mediante el cual ciertos materiales de los desechos sólidos se separan, recogen, clasifican y almacenan para reincorporarlos como materia prima al ciclo productivo.
<i>Stock</i>	Palabra inglesa que se usa en español con el sentido de existencias o reserva de alguna cosa disponible para un uso futuro.

Temperatura

Nivel térmico de un cuerpo o sustancia.

Tubería

Conducto cilíndrico de longitud variable donde se transportan líquidos y gases.

Válvula

Dispositivo de forma y construcción variable que se instala en un conducto para regular y controlar la cantidad de fluido que circula por él.

RESUMEN

El desempeño de las actividades experimentales realizadas en laboratorios de dicha índole, dentro de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se ve claramente limitado por el estado funcional de los equipos existentes.

Lo cual es una deficiencia dentro del proceso de formación profesional de los futuros ingenieros san carlistas del país.

Bajo esta premisa se realiza el presente trabajo de investigación, enfocado en crear y ofrecer herramientas, procedimientos y métodos que den paso a la creación, implementación, control y seguimiento del programa de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo dentro del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela de Ingeniería Química.

En la primera parte se exponen los antecedentes generales de dicho laboratorio, además se aporta una base teórica acerca de elementos importantes comprendidos dentro del programa de mantenimiento mencionado.

Los métodos y herramientas para poder evaluar, analizar y comprender el estado funcional de los equipos, así como también para llevar el control de equipos mediante modelos de fichas técnicas y de control de horas de trabajo, se especifica en la segunda parte del trabajo.

La tercera parte describe el desarrollo de los tipos de mantenimiento conformados en el programa. El primero es el mantenimiento correctivo, que incluye la creación de modelos para la administración y control de servicios de mantenimiento de equipos, uso de diagramas causa-efecto y una exposición sobre cómo estimar los recursos e insumos necesarios para dicho programa.

El segundo es el mantenimiento preventivo, que comprende la priorización de las labores de mantenimiento en base a la criticidad de los equipos, explicación de cómo seleccionar actividades de mantenimiento preventivo por equipo y además, la creación de formatos como historial de fallas y órdenes de inspección y visita.

El tercer tipo de mantenimiento es el predictivo, a través del cual, se considera la manera en que se debe seleccionar y establecer la periodicidad de las pruebas predictivas por equipo. También se muestran algunos oferentes y costos de pruebas predictivas más comunes.

Y en la cuarta parte, se desarrolla la implementación del programa de mantenimiento, el cálculo de recursos mínimos, la propuesta estructural administrativa del mantenimiento y se expone a través de diagramas de flujo, el procedimiento de aplicación del mantenimiento.

Ya que las actividades de mantenimiento pueden llegar a generar ciertos efectos ambientales negativos, en la quinta parte se da una pequeña exposición en cuanto a los más probables problemas ambientales que se pueden ocasionar dentro del laboratorio, y también, la manera de cómo mitigarlos.

La última parte describe formas y métodos que pueden aplicarse para brindar un seguimiento y mejora continua del programa mencionado.

OBJETIVOS

GENERAL

Elaborar un programa de mantenimiento correctivo-preventivo-predictivo para el equipo experimental significativo del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

ESPECÍFICOS

1. Realizar un inventario técnico de todo el equipo experimental significativo del laboratorio.
2. Formular un diagnóstico situacional actual del equipo inventariado.
3. Determinar las causas de fallas más comunes para cada equipo.
4. Clasificar el equipo inventariado según parámetros de priorización del mantenimiento.
5. Desarrollar medios de control para la administración de las actividades de mantenimiento.
6. Establecer indicadores de mantenimiento.

7. Elaborar un cálculo aproximado acerca de los recursos requeridos.
8. Identificar posibles causas de contaminación medio ambiental, e identificar sus posibles formas de mitigación.
9. Proponer un sistema de implementación y seguimiento para el programa de mantenimiento.

INTRODUCCIÓN

En ocasiones se considera al mantenimiento como un mal necesario, de ahí que solamente una parte de las empresas o instituciones con mayor experiencia y con mayor tiempo de existencia en el mercado, sean las únicas que procuran desarrollar y mantener un programa de mantenimiento. Aunque básicamente dichos programas de mantenimiento suelen conformarse solo por actividades de mantenimiento del tipo correctivo y/o preventivo, sin tomar en cuenta la forma de llevar el control administrativo, además de no evaluar el funcionamiento y progreso de los programas.

Por esta razón se consideró la elaboración de una propuesta de programa de mantenimiento que incluya los tipos de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo; además de sus respectivos métodos, formas de control administrativo y métodos de seguimiento. Todo esto adaptado y referido al equipo experimental del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Considerando el inventario y priorización del equipo, la estructuración y elaboración de la propuesta del programa de mantenimiento, un pequeño estudio medio ambiental y por último la propuesta de implementación y seguimiento del programa.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Generalidades del laboratorio de Operaciones Unitarias

1.1.1. Historia

La participación en los cursos de laboratorios, incluyendo los de fisicoquímica en la carrera de Ingeniería Química se establece en tres etapas:

- a. Formativa básica: el estudiante la obtiene al ingresar a la universidad y es cubierta por los laboratorios de química y de análisis.
- b. Intermedia: cubierta por el Laboratorio de Fisicoquímica. En éste se consolidan los valores que la formación de ingenieros requiere para el desarrollo de la vida profesional.
- c. Profesional: cubierta por los cursos de laboratorio de Ingeniería Química o de Operaciones Unitarias.

La participación directa en las etapas intermedia y profesional, es importante, porque permite crear una corriente formativa donde se pueden establecer los siguientes pasos operativos:

- Consolidación de los conocimientos teóricos adquiridos en los cursos previos.

- Formación práctica inicial en los cursos de la etapa básica en cuanto a habilidades psicomotrices y formación de hábitos de trabajo.
- Formación de habilidades y valores propios del trabajo de laboratorio en los cursos de laboratorio de fisicoquímica.
- La parte práctica requiere de los conocimientos teóricos adquiridos en los cursos relacionados con los temas de trabajo. Al aplicar estos conocimientos de manera práctica, se consolidan.
- Adquisición de hábitos para la organización de las prácticas y desarrollo de las mismas en grupos de trabajo.
- Desarrollo de las prácticas experimentales utilizando equipos de uso típico en laboratorios.
- Análisis e interpretación de datos experimentales y presentación de las conclusiones en un documento de carácter técnico.
- Organización, elaboración y presentación de un documento de trabajo ante los profesores titulares y auxiliares.

1.1.2. Misión

Actualmente el laboratorio no cuenta con una misión que sea reconocida oficialmente.

1.1.3. Visión

De igual forma que la misión, el laboratorio no cuenta con una visión que sea reconocida oficialmente.

1.1.4. Objetivos

General

Organizar actividades experimentales para obtener información que permita aplicar y verificar principios, conceptos y teorías que fundamentan las operaciones unitarias de la Ingeniería Química y mediante la aplicación de métodos numéricos, obtener conclusiones que permitan elaborar informes técnicos con la participación de grupos dinámicos de trabajo.

Específicos

- a. Controlar en la práctica, las variables de operación de los procesos unitarios involucrados en la práctica experimental y verificar la exactitud y la precisión de los equipos de medición empleados, mediante la aplicación de métodos estadísticos.
- b. Coordinar grupos de trabajo en la organización y el desarrollo de las prácticas de rutina programadas, asignando tareas específicas a cada uno de los miembros del grupo.
- c. Elaborar informes técnicos de cada actividad experimental, siguiendo formatos conocidos y dando al documento los criterios, contenidos y presentación aceptados en la Facultad de Ingeniería.

- d. Elaborar diagramas de flujo y manuales de operación de los equipos que son utilizados en los procesos industriales.

1.1.5. Descripción de actividades del laboratorio

Se da un desarrollo práctico-experimental basado en fundamentos teóricos adquiridos con anterioridad y que el estudiante aporta como parte de su formación.

En las prácticas se aplican los principios básicos de las operaciones unitarias de la Ingeniería Química, los balances de materia y energía y los fundamentos de la transferencia de momentum y calor. Los fenómenos se estudian en unidades de planta piloto de carácter docente instaladas en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela de Ingeniería Química, USAC.

Algunas de las prácticas que se realizan dentro del laboratorio, específicamente del curso “Laboratorio de Ingeniería Química 1”, son las siguientes:

- Práctica 1: calibración de los medidores de flujo de agua (CMFA)
- Práctica 2: curvas características de la bomba centrífuga y otras variables de operación (CCBCOVO)
- Práctica 3: caída de presión en tuberías y accesorios (CPTA)
- Práctica 4: intercambiador de calor de tubos concéntricos de cobre (ICTCCu)

- Práctica 5: intercambiador de calor de concha y tubos de cobre (ICCTCu)

1.1.6. Descripción de jornadas de trabajo

La distribución de las jornadas de trabajo dentro del Laboratorio de Operaciones Unitarias se establece en base a secciones (grandes grupos de estudiantes de un mismo curso). Por ejemplo, para el curso Laboratorio de Ingeniería Química 1, se cuenta con tres secciones, las cuales se reparten las actividades respectivas del curso entre los días martes en horarios de 12:30 a 16:30 y 16:30 a 20:40 y el día jueves en el horario de 16:30 a 20:40.

Además, la frecuencia con que se utilizan los equipos del laboratorio, dependen de la distribución de los grupos de estudiantes y prácticas a realizar de acuerdo al cronograma de actividades establecido por los titulares del laboratorio. La tabla I muestra la distribución de grupos y prácticas establecida para el Laboratorio de Ingeniería Química 1, dentro del Laboratorio de Operaciones Unitarias.

Tabla I. Distribución de grupos y prácticas del laboratorio

GRUPO	PRÁCTICA No. 1	PRÁCTICA No. 2	PRÁCTICA No. 3	PRÁCTICA No. 4	PRÁCTICA No. 5
M1-2A/JA	CMFA	CCBCOVO	CPTA	ICTCCu	ICCTCu
M1-2B/JB	ICCTCu	CMFA	CCBCOVO	CPTA	ICTCCu
M1-2C/JC	ICTCCu	ICCTCu	CMFA	CCBCOVO	CPTA
M1-2D/JD	CPTA	ICTCCu	ICCTCu	CMFA	CCBCOVO
M1-2E/JE	CCBCOVO	CPTA	ICTCCu	ICCTCu	CMFA

Fuente: Programa del Laboratorio de Ingeniería Química 1. p. 7, julio 2010

Mientras que la tabla II, página 6, muestra parte de la terminología empleada en las prácticas de dicho curso.

Tabla II. Terminología empleada en prácticas del laboratorio

SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
CMFA	Calibración de los medidores de flujo de agua
ICCTCu	Intercambiadores de calor de concha y tubos de cobre
ICTCCu	Intercambiadores de calor de tubos concéntricos de cobre
CPTA	Caídas de presión en tuberías y accesorios
CCBCOVO	Curvas características de la bomba centrífuga y otras variables de operación

Fuente: Programa del Laboratorio de Ingeniería Química 1. p. 7, julio 2010

1.2. Base teórica

1.2.1. Definición de mantenimiento industrial

La fiabilidad y la disponibilidad de una planta industrial o de un edificio, dependen en primer lugar, de su diseño y de la calidad de su montaje.

Si se trata de un diseño robusto y fiable, y la planta ha sido construida siguiendo fielmente su diseño y utilizando las mejores técnicas disponibles para la ejecución, entonces dependen, en segundo lugar, de la forma y buenas costumbres del personal de producción y el personal que opera las instalaciones.

En tercer y último lugar, la fiabilidad y disponibilidad dependen del mantenimiento que se realice.

El mantenimiento involucra una serie de actividades, cuyo objetivo primordial es mantener a los equipos en buenas condiciones de operación, reduciendo así, los paros por fallas. Esto conlleva a que el trabajo se desarrolle en forma continua, permitiendo a la empresa disponer de los equipos por más tiempo.

El adecuado mantenimiento tiende a prolongar la vida útil de los bienes o equipos, a obtener un rendimiento aceptable de los mismos durante más tiempo y a reducir el número de fallas.

Cuando se dice que algo falla, es porque deja de brindar el servicio que debería dar, o cuando aparecen efectos indeseables, según las especificaciones de diseño con las que fue construido o instalado el bien o equipo en cuestión.

La ocasión perfecta para diseñar un buen mantenimiento programado que haga que la disponibilidad y la fiabilidad de una planta industrial sean muy altas, es durante la construcción de ésta.

Cuando la construcción ha finalizado y la planta es entregada al propietario para su explotación comercial, el plan de mantenimiento debe estar ya diseñado, y debe ponerse en marcha desde el primer día que la planta entra en operación.

Perder esa oportunidad significa renunciar a que la mayor parte del mantenimiento sea programado, y caer en el grave error de consecuencias económicas nefastas. Esto debido a que serán las averías las que dirijan la actividad del departamento de mantenimiento.

Ocurre a veces que no se dispone de los recursos necesarios para realizar un programa de mantenimiento de forma previa a la entrada en funcionamiento de la planta, o que ésta ya está en funcionamiento cuando se plantea la necesidad de elaborar el dicho programa. En esos casos, es recomendable lo siguiente.

- Realizar un plan inicial: basado en instrucciones de los fabricantes o en instrucciones genéricas según el tipo de equipo, completados siempre por la experiencia de los técnicos que habitualmente trabajan en la planta, y las obligaciones legales de mantenimiento que tienen algunas instalaciones. Este plan puede elaborarse con rapidez, recordando que es mejor un plan de mantenimiento incompleto que realmente se lleva a cabo, a que no exista ninguno.
- Una vez elaborado este plan y puesto en funcionamiento, se procede a realizar un plan más elaborado, basado en el análisis de fallos de cada uno de los sistemas que componen la planta. Este análisis permitirá no sólo diseñar el programa final de mantenimiento, sino que además permitirá proponer mejoras que eviten fallos, crear procedimientos de mantenimiento o de operación y seleccionar el repuesto necesario.

El objetivo general de la gestión de mantenimiento es el de maximizar el valor y la disponibilidad de las instalaciones, maquinaria y equipo con el mínimo costo.

Además, su organización e información debe estar encaminada a la permanente consecución de los siguientes objetivos:

- Optimización de la disponibilidad del equipo productivo
- Disminución de los costos de mantenimiento
- Optimización de los recursos humanos
- Maximización de la vida de la máquina

Las funciones de mantenimiento deben establecerse de forma clara, precisa y ajustada a las condiciones de la empresa. Entre estas funciones se citan las siguientes:

- Corregir las fallas que se presentan en las máquinas y equipos
- Proceder con los diversos reacondicionamientos hacia los equipos, cuando lo ameriten
- Desarrollar programas de capacitación para el personal técnico y administrativo
- Diseñar sistemas de control que permitan evaluar las cantidades óptimas de repuestos y materiales que se deben tener en bodega
- Elaborar los procedimientos para la ejecución de los trabajos de mantenimiento y su respectiva evaluación de cumplimiento
- Desarrollar mecanismos de control para lograr determinar los costos en que incurren los trabajadores de mantenimiento

1.2.2. Definición de mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo es aquel que cubre todas las actividades de mantenimiento de corrección o reparación de una falla en un equipo, es decir, que toda reparación de una falla planeada o no, es clasificada dentro de esta categoría.

Con base en lo anterior, la actividad de mantenimiento correctivo se subdivide en dos grupos:

Correctivo no planeado

El mantenimiento correctivo no planeado corresponde al mantenimiento de emergencias y fallas. Es aquel que ocurre cuando la orden de trabajo llega al departamento de mantenimiento con menos de ocho horas para su ejecución.

Este tipo de mantenimiento está relacionado con altos costos de mantenimiento y pérdidas en la producción. Para evitar en lo posible, todo lo dicho anteriormente, la unidad de mantenimiento y gestión de inventarios deben llegar a un acuerdo sobre cuáles son aquellos insumos y repuestos que se deben mantener en bodega para tener la capacidad de suplir las actividades correctivas de mantenimiento que puedan surgir eventualmente.

Correctivo planeado

Por el contrario, el mantenimiento correctivo planeado incrementa la disponibilidad y al mismo tiempo reduce los costos directos de esta actividad. Baja la carga de trabajo de la unidad de mantenimiento y se incrementa la calidad de los trabajos. Para garantizar este mantenimiento, debe conocerse la condición del equipo por medio de la detección de fallas.

Para efectuar el mantenimiento correctivo planeado, la Unidad de Mantenimiento debe coordinar con la gestión de los inventarios, el requerimiento de los insumos y repuestos necesarios para llevarlo a cabo.

Con base en las existencias de repuestos e insumos que se tengan en el instante, ambas áreas deben programar la previa asignación de recursos (incluyendo responsables y plan de consumo) y, la adquisición de los bienes faltantes necesarios para desarrollar este tipo de mantenimiento. Esta actividad se involucra directamente con los inventarios de operación.

El mantenimiento correctivo planeado puede ser:

- Mayor: cuando se pretende alargar la vida útil a los objetos de mantenimiento, se presenta como consecuencia de un seguimiento continuo al estado del objeto de mantenimiento y posterior al análisis del ciclo de vida útil del equipo.
- Reemplazo de equipos: puede ser necesario antes o después de la vida útil esperada del equipo y define cuál alternativa podría aceptarse como un reemplazo. El reemplazo puede ser causado por obsolescencia, rendimiento reducido o cambio de condiciones.

1.2.3. Definición de mantenimiento preventivo

Es el tipo de mantenimiento que cubre todas las actividades de mantenimiento programado y cuya filosofía es la de llevar a cabo la prevención de la ocurrencia de una falla o la detección de la falla, antes de que ésta ocasione una interrupción o un disturbio en la producción.

Como su nombre lo indica, el mantenimiento preventivo, se diseña con la idea de prever y anticiparse a los fallos de las máquinas y equipos, utilizando para ello una serie de datos sobre los distintos sistemas y sub-sistemas, e inclusive partes presentes en una planta industrial.

Bajo esa premisa se diseña el programa con frecuencias calendario o uso del equipo, para realizar cambios de subensambles, cambio de partes, reparaciones, ajustes, cambios de aceite y lubricantes a maquinaria, equipos e instalaciones que se consideren importantes para evitar fallos.

El mantenimiento preventivo podrá, en un futuro, ser potencialmente mejorado por medio de la incorporación de un programa de Mantenimiento Predictivo.

Es importante trazar la estructura del diseño del programa, incluyendo en éste las componentes de conservación, confiabilidad, sostenibilidad y un plan que fortalezca la capacidad de gestión de cada uno de los diversos estratos organizativos, tras ubicar las responsabilidades de cada uno de estos para asegurar el cumplimiento de dicho programa.

Dentro de un programa de mantenimiento preventivo, la acción de mantener en buen estado el equipo, se puede lograr mediante la planeación y programación de los siguientes aspectos:

Visitas

Son inspecciones o verificaciones que se ejecutan periódicamente en las instalaciones y máquinas para comprobar su estado o para seguir la evolución de las anomalías identificadas y así evitar que lleguen a convertirse en fallas. Para ser consideradas como tales, las visitas deben cumplir con lo siguiente:

- Verificar las inspecciones en el lugar de trabajo, comprobando si el equipo labora en condiciones de rendimiento óptimo;

- Ser rápidas, deteniendo el equipo (si es necesario) el menor tiempo posible. La duración de una visita debe planearse para que no sea mayor de una hora;
- No desarmar órganos complejos, sin embargo se pueden efectuar pequeños desmontajes para realizar la inspección, siempre que no exceda el tiempo ya establecido;
- Realizar pequeñas reparaciones que no provoquen una detención excesiva;
- Utilizar, en lo posible, métodos no destructivos de inspección, tales como: visuales, auditivos, rayos x, gammagrafía y ondas ultrasónicas.

El personal que efectuará las visitas tiene una gran responsabilidad por lo que debe tener conocimientos técnicos calificados para ser capaz de localizar las causas de posibles fallas.

Revisiones

Son intervenciones que se realizan sobre instalaciones o máquinas para detectar o confirmar las anomalías localizadas durante la visita previa, y reparándolas con el fin de dejar el equipo en condiciones de funcionamiento que evite la aparición de fallas.

Las revisiones para ser consideradas como tales, deben cumplir con los siguientes aspectos.

- Desmontar partes de las máquinas o instalaciones cuando, por consecuencia de la visita previa, se detecta la posibilidad de existencia de fallas;
- Reparar las fallas previamente señaladas por las visitas y otras detectadas durante la revisión;
- Sustituir o reemplazar piezas sujetas a desgaste rápido de acuerdo con un programa establecido con anticipación. En esta actividad se tratará normalizar las piezas que se reemplazan periódicamente.

Las revisiones se tratarán de efectuar en el lugar de la máquina, pero si la dificultad de reparación requiere que se traslade al taller de mantenimiento, el tiempo de la revisión debe de preverse. Para facilitar las revisiones es conveniente prepararlas previamente, analizando las secuencias de desmontaje y montaje así como prever la herramienta y equipo necesarios.

El personal de revisión, igual que el de las visitas, debe ser previamente adiestrado. Para ello se puede optar la alternativa de asignar a personas específicas un tipo de máquina o formar personal polivalente, para que revise todo tipo de equipo.

Lubricación periódica

Es una de las actividades más importantes en el mantenimiento preventivo. La vida útil del equipo depende en gran parte de una correcta lubricación, pues un alto porcentaje de fallas son consecuencia de lubricación defectuosa.

La planificación de la lubricación parte de la información dada por el fabricante de los equipos en cuanto la localización de puntos que necesitan lubricante, periodicidad de aplicación, cambio y limpieza, tipo de lubricante, viscosidad de los mismos, etc. Con estos datos y de acuerdo a las condiciones de trabajo se procede a la normalización de los lubricantes.

Al tener normalizados y clasificados los lubricantes se procede a elaborar las fichas de lubricación, las cuales deben constar de un croquis de la máquina o instalación, con las vistas suficientes para identificar puntos de aplicación, y niveles de aplicación.

Además, las fichas de lubricación deben indicar la frecuencia de aplicación en cada punto del equipo, tipo de lubricante a emplear, limpieza de depósitos y renovación, entre otros.

El personal que ejecuta las tareas de lubricación será instruido concretamente en el conocimiento de técnicas de aplicación, tipos de lubricantes y herramienta y accesorios relacionados con esta actividad tales como aceiteras, graseras, extensiones u otros.

Limpieza

Son las acciones que incluyen actividades de limpieza, conservación, señalización, acondicionamiento cromático y prevención contra la corrosión. Se excluyen de esta actividad, la limpieza de depósitos de lubricantes por estar considerados dentro de las atribuciones de la lubricación.

Las actividades de limpieza pueden agruparse de la siguiente manera:

- Limpieza de máquinas: la limpieza externa o superficial será efectuada por el operario de la máquina, al final de la jornada. Pero cuando existan superficies de deslizamiento y lugares de difícil acceso en los que sea preciso desmontar componentes, serán efectuadas por el personal de mantenimiento.
- Limpieza de instalaciones: fundamental para efectos de seguridad y rendimiento, especialmente en los recintos de materiales contaminantes (productos químicos, combustibles, lubricantes, pinturas, y demás materiales similares).
- Conservación de edificios: agrupa todas aquellas actividades relacionadas con la conservación de los edificios como: el cambio de vidrios rotos, bombillas y tubos en las lámparas, pintura en paredes, etc. Por su naturaleza, estas actividades son aleatorias, es decir, no pueden efectuarse sistemáticamente sino como resultado de las visitas.
- Señalización y acondicionamiento cromático: en este grupo de actividades se incluyen la delimitación en el suelo, de zonas de tránsito y depósitos mediante las señales correspondientes y haciendo uso de pinturas anticorrosivas, soluciones asfálticas y barnices.

Existen otros aspectos dentro del mantenimiento preventivo que deben ser tomados en cuenta, dichos aspectos se exponen a continuación.

a. Beneficios del mantenimiento preventivo

Los beneficios del mantenimiento preventivo más relevantes son los siguientes:

- Reduce las fallas y tiempos muertos, incrementando la disponibilidad de equipos e instalaciones
- Incrementa la vida de los equipos e instalaciones
- Mejora la utilización de los recursos
- Reduce los niveles del inventario
- Propicia ahorros monetarios

b. Costos del mantenimiento preventivo

Antes de iniciar el programa de mantenimiento preventivo será necesario tener una idea completa de cuál será su costo, ya que hay un número de requerimientos a considerar. A continuación se señalan algunos de estos costos:

- **Arranque**

Siempre existen costos asociados con el arranque de cualquier programa, en el inicio del programa de mantenimiento preventivo se pueden mencionar los siguientes aspectos.

- Tiempo extra: ya que es bastante el trabajo a realizar, en relación a: seleccionar la maquinaria y equipo que será incluido en el programa de mantenimiento, reunir los datos necesarios tales como los manuales del fabricante, historiales del equipo, repuestos, refacciones críticas, datos de placa y hacer los manuales de mantenimiento, entre otros.
 - Técnicos de mantenimiento: debido a que es necesario recabar información de la maquinaria y equipo tal como los datos de placa, refacciones utilizadas, materiales, y demás.
 - Tiempo de ayudantes: una vez que se ha seleccionado el equipo y recolectado toda la información para el programa, se necesita transferir esa información a su forma final, ya sea en un programa de mantenimiento preventivo manual, o en un sistema computarizado. Normalmente este tipo de trabajo es manejado mejor por alguien con experiencia en el área.
- **Almacenes**

Dada la importancia y la relación que tienen los almacenes y el inventario de refacciones, con el programa de mantenimiento preventivo, se necesitará también información al respecto.

En la medida que se incrementa el mantenimiento preventivo se aumentará el número de refacciones que debe almacenarse, por lo cual se debe trabajar de acuerdo a los programas de confiabilidad de cada equipo y las refacciones críticas.

El impacto negativo que causa un mal manejo de inventario en el programa de mantenimiento preventivo se ve reflejado en la reducción de la efectividad de dicho programa, en la promoción de desviaciones de desempeño de equipos y en el grado de calidad del servicio de los equipos.

Además, se debe recolectar información acerca de proveedores, tiempos de entrega, costos, tiempos de tránsito, etc. Con todo esto se estará en posición de determinar un adecuado nivel de lubricantes, filtros, sellos, refacciones especiales, refacciones comunes, y otros artículos de almacén normalmente usados durante el mantenimiento preventivo.

Si se toma la decisión de incluir dentro del programa de mantenimiento preventivo, algún tipo de actividades de mantenimiento predictivas, entonces, se tendrá que disponer de instrumentos y provisiones especiales para dichas actividades, o contratar una firma especializada en el ramo de acuerdo a la programación establecida.

- **Entrenamiento o capacitación**

Es preciso determinar, previamente, si se requiere algún tipo de capacitación y planear el mismo, para formar un grupo de trabajo directamente relacionado con el soporte de los programas de mantenimiento preventivo, considerando siempre su cumplimiento.

Si se incluyen otras disciplinas como el mantenimiento predictivo en dicho programa, se necesitará de un entrenamiento especial en base a cómo administrarlo además de implementar medios de control e integración.

1.2.4. Definición de mantenimiento predictivo

En el mantenimiento predictivo o bajo condición, se evalúa el estado de los componentes mecánicos o eléctricos mediante técnicas de seguimiento y análisis, permitiendo programar las operaciones de mantenimiento solamente cuando son necesarias.

Este consiste esencialmente en el estudio de ciertas variables o parámetros físicos relacionados con el estado o condición de los equipos, como por ejemplo: la vibración, temperatura, aceites, aislamientos, etc.

El estudio de dichos parámetros suministra información del estado de los componentes y del modo en que está funcionando dicho equipo, permitiendo, no solo detectar problemas de componentes antes de que estos se produzcan, sino también detectar problemas de diseño e instalación. El objetivo del mantenimiento predictivo es, la reducción de los costos de operación y de mantenimiento tras incrementar la fiabilidad del equipo.

La base del mantenimiento predictivo radica en la monitorización de los equipos, ya que se deben evaluar los parámetros antes comentados con la instalación o equipo bajo funcionamiento normal. No es, por tanto, necesario hacer una parada para poder evaluar la condición de los mismos.

Con las diferentes técnicas disponibles se pueden evaluar los fallos en los componentes de los equipos y seguir la evolución de estos, durante largos períodos de tiempo (a veces meses), antes de decidirse el planeamiento de una intervención. De esta manera se puede coordinar con el departamento de producción, el momento más adecuado para la intervención de los equipos.

Para conseguir el éxito en la implantación de un sistema de mantenimiento predictivo es necesario seguir una estrategia. El fracaso estará asegurado si se pretende hacer una implantación del mismo en todos los equipos y más aún cuando se deseen implantar varias tecnologías predictivas simultáneamente.

Si además, no se cuenta con un sistema de gestión de información adecuado que permita tratar los datos correctamente, se conseguirá tirar a la basura una importante inversión económica y lo que es peor se perderán los beneficios de una buena implantación con una alta rentabilidad económica. Además de perder la confianza en las tecnologías predictivas que terminarán siendo de uso habitual.

Será necesario, en primer lugar, hacer una selección de equipos que se van a monitorizar, ésta vendrá condicionada por una serie de factores entre los que se encuentran la criticidad, responsabilidad y accesibilidad del equipo así como también de la información técnica que se pueda disponer de ellos.

Al centrarse en un pequeño número de equipos, se puede analizar a mayor detalle el tipo de técnica predictiva que se adecue más a estos. Normalmente el análisis de vibraciones es la de más amplia utilización.

Luego de seleccionar las técnicas predictivas de los equipos, se deberá realizar un programa piloto (de prueba) con éstas, para poder detectar la magnitud de localización de defectos, analizar causas y retroalimentar el sistema. Asimismo se probarán distintos sistemas de GMAOS (*Software* de Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador), para tratar de elegir aquel que se acople más a las necesidades que se tengan.

Una vez obtenida una valoración positiva del programa piloto, se procederá a realizar una extensión de la aplicación a un mayor número de equipos y así sucesivamente hasta conseguir una implantación total con la integración de distintas tecnologías y además con una gestión adecuada de datos.

Si el proceso se realiza de forma progresiva y sin prisas, los resultados económicos no tardarán en ser evidentes y en muchas ocasiones sorprendentes.

Dentro del mantenimiento predictivo pueden considerarse otros aspectos importantes tales como los siguientes:

Justificación técnica y económica del mantenimiento predictivo

La justificación técnica del mantenimiento predictivo es evidente, basta para ello comparar las actuaciones que se realizan cuando se efectúa un mantenimiento preventivo o correctivo dentro del lugar de aplicación, con las que se tendrían que realizar cuando se tuviesen monitorizados los equipos.

Cuando únicamente se realiza un mantenimiento correctivo, el término mantenimiento es sinónimo de reparación. No quiere decir que no pueda existir este tipo de intervenciones. De hecho, el fin último de todo tipo de mantenimiento es reparar o sustituir componentes dañados, para alargar la vida útil de la maquinaria o equipo.

Es un error centrar todas las actuaciones de mantenimiento con esta única finalidad. Ello solo presenta una ventaja: costo de la inversión inicial prácticamente nulo.

Con el mantenimiento preventivo o programado, que se basa en la sustitución de componentes de los equipos cuando se ha agotado la vida útil de los mismos, claramente consigue evitar averías, pero se debe tener cuidado con su aplicación. Por ejemplo, los fabricantes de rodamientos indican en sus catálogos que la vida media de los rodamientos es aproximadamente cinco veces la vida nominal.

Lo último del párrafo anterior dice: si se prolonga la vida de los rodamientos, a su duración real, se conseguirá quintuplicar la duración de los mismos. Este argumento por si solo es válido para querer monitorizar en muchas ocasiones.

Por otro lado, el mantenimiento preventivo presenta también una serie de inconvenientes:

- El principal inconveniente radica en intervenir un equipo que está funcionando correctamente, simplemente porque le toca una revisión. Los equipos adquieren, con su funcionamiento, un equilibrio que es difícil de restablecer una vez se han intervenido y con las actuaciones preventivas se está modificando constantemente este tipo de equilibrio de funcionamiento.
- Cuando se actúa sobre un equipo, se procede a cambiar los componentes que normalmente están en buen estado. Esto se realiza desconociendo el estado real de los mismos, el cual se determinará hasta desmontar los componentes.

- Se pueden cambiar componentes que han agotado su vida teórica y no ver otros que se encuentran en mal estado. No se tiene control sobre los daños ocultos.
- En cuanto al costo, puede elevarse, como consecuencia de las frecuentes intervenciones en las máquinas, muchas de ellas innecesarias.

Aunque las actuaciones del mantenimiento predictivo pasan por inconvenientes de elevados costos de inversión en tecnología y formación de personal, con una rentabilidad de la misma a medio y largo plazo, las ventajas son evidentes:

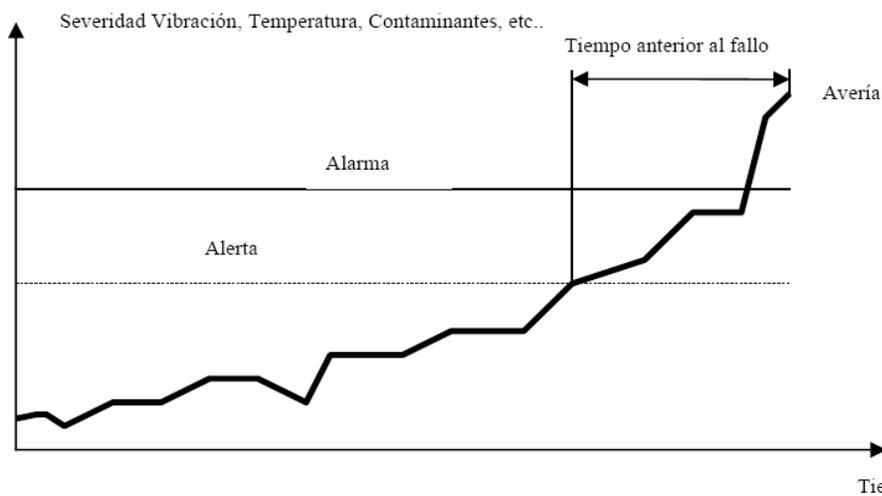
- Se conoce el estado del equipo en todo instante
- Se eliminan, prácticamente, todas las averías
- Solo se para o interviene el equipo cuando realmente es necesario
- El daño en los componentes, se conoce, desde una fase inicial. Permitiendo programar la sustitución de los mismos en el momento más conveniente
- Al intervenir el equipo, se conoce el problema, reduciendo el tiempo de la reparación
- Los repuestos del almacén se reducen tras adquirirlos cuando se detecta el problema en una fase primaria
- Se incrementa la seguridad de la planta

El gráfico mostrado en la figura 1, es la mejor forma de entender en qué consiste el mantenimiento predictivo.

Dicha figura consiste de un gráfico de tendencias o de control en donde el eje de las ordenadas evalúa el parámetro que se esté midiendo (severidad de vibración, temperaturas, contaminantes, presión, entre otros.) y, el eje de las abscisas mide el tiempo; mientras la severidad del parámetro permanezca estable no habrá por qué preocuparse (el equipo está bien), pero cuando ésta comience a subir será un indicativo de que algo va mal en el equipo analizado.

Mención particular merece el establecimiento de los límites de alerta y de fallo, debido a su clara importancia, los cuales se entiende por su propio nombre. Existen diversas formas de establecerlos, siendo necesario siempre disponer de un histórico de medidas que permita realizar un estudio estadístico de las mismas.

Figura 1. Ejemplo de gráfico de control creado con datos de monitorización de variables físicas



Fuente: Guerrero Antonio. Introducción al mantenimiento predictivo. p. 5, septiembre 2010

La evaluación de la rentabilidad económica del mantenimiento predictivo, no es sencilla, es necesario disponer de una información histórica, aunque siempre es posible la estimación del costo directo evitado.

Aún, sin necesidad de declarar catástrofes evitadas se obtienen rentabilidades atractivas para competir con otros proyectos.

Se puede realizar una evaluación de la inversión en mantenimiento predictivo con datos obtenidos en distintos sectores de una empresa, siendo el parámetro más extendido el retorno de la inversión (ROI), ecuación 1. El ROI es una razón que relaciona el ingreso monetario o ahorro que percibe un establecimiento, generado por una base de activos, en concordancia a la inversión realizada para adquirir dicha base de activos.

$$\text{ROI} = \text{Ingreso ó ahorro} / \text{Inversión} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Tecnologías aplicables

Son muchas y muy variadas las tecnologías que se pueden aplicar al campo del mantenimiento predictivo o bajo condición, a continuación se enumeran algunas de ellas:

- Análisis de vibraciones
- Termografía infrarroja
- Análisis de aceites
- Análisis espectral de intensidades de corriente
- Detección ultrasónica de defectos
- Ensayos de aislamiento de motores
- Ensayos no destructivos

Cada una de las tecnologías enlistadas anteriormente, tiene un campo de aplicación más o menos concreto, existiendo complementariedad prácticamente entre todas.

1.2.5. Indicadores de mantenimiento

Uno de los problemas a los que se enfrenta un responsable de mantenimiento que quiere mejorar los resultados del departamento a su cargo, es que debe medir la evolución de los aspectos más importantes que definen o determinan la calidad de su trabajo.

Cuando se piensa en qué se debe medir dentro del mantenimiento, se debe responder antes, a algunas preguntas básicas:

¿Deben ser los indicadores los mismos para los jefes, planificadores o supervisores?

La respuesta es no. Cada responsable debe tener indicadores que estén incluidos en un sistema interdependiente, capaces de formar una estructura piramidal alineada con la estructura de la organización y del sector al que pertenece el mantenimiento. De esta manera, satisfaciendo los parámetros de mantenimiento se cumplen también, por ejemplo, con los parámetros del departamento de producción de la organización.

Dentro del área de mantenimiento, un supervisor con varias personas a su cargo podría ver indicadores de productividad de su personal. El planificador podrá medir indicadores de cumplimiento en término de las órdenes de trabajo y de eficacia en las horas de trabajo planificadas.

Por su lado, el Jefe de Mantenimiento puede estar preocupado por los indicadores de costos y por el OEE (*Overall Equipment Effectiveness* o Eficiencia General de los Equipos), los cuales se pueden relacionar con las pérdidas de calidad en los bienes (productos) y con el rendimiento de los equipos debido al mantenimiento.

Para que los indicadores del Jefe de Mantenimiento den buenos valores, deben dar también, buenos valores, los indicadores de los supervisores y planificadores, ya que debe buscarse el crecimiento de la organización a nivel general y no individual.

Del mismo modo, si se da un OEE bueno a la planta, el Gerente de Producción tendrá menos desperdicios (mermas, improductividad de la mano de obra, etc.).

Por su parte, el Gerente General, estará preocupado por medir la rentabilidad de la empresa, el indicador de segmento de mercado, el ROI de los accionistas y demás indicadores similares. Dichos indicadores darán buenos resultados si todos sus colaboradores dentro de la organización obtienen indicadores alineados y con valores satisfactorios.

De esta manera, el Gerente General, mirando por ejemplo el *software* de seguimiento de *Balance Score*, puede empezar a recorrer los diagramas arborescentes y encontrar que la rentabilidad cayó porque bajó la productividad, que esta última se redujo porque hubo un bajo nivel de disponibilidad de equipos, y siguiendo así, se llega a la conclusión que hubo un problema con la planificación, porque no se cumplió con el plan de mantenimiento preventivo.

No se mide cualquier cosa por el simple hecho de medir. Se deben medir las cosas que son realmente útiles, es decir los factores clave que propician buenos resultados para la organización.

¿Cuántos indicadores debe manejar una persona?

La experiencia indica que aproximadamente cinco, es un buen número. La respuesta más prudente sería: tantos indicadores como objetivos se puedan mantener bajo control, para cumplir con la misión asignada.

Lo cierto es que hay que plantear los objetivos adecuados de manera tal que la satisfacción de los mismos permita cumplir con la misión asignada al responsable.

Por lo tanto no todos, dentro de la organización, deben tener la misma cantidad de indicadores ni del mismo tipo.

¿Cuáles son los indicadores considerados *World Class*?

Son muy útiles para hacer *benchmarking* (estratégica de mejora organizacional) con otras empresas y además son globalmente reconocidos. Estos son:

- a. TMEF (Tiempo Medio Entre Fallas): relaciona el producto del número de componentes del equipo (NCE) y sus tiempos de operación (TO) con el número total de fallas de dichos componentes (NTFC). Ecuación 2.

$$\text{TMEF} = \frac{\text{NCE}(\text{TO})}{\text{NTFC}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

- b. TMPR (Tiempo Medio Para la Reparación): relación entre el tiempo total de intervención correctiva (TTIC) en el equipo con falla y el número total de fallas detectadas (NTF) en ese equipo, en cierto período. Ecuación 3.

$$\text{TMPR} = \frac{\text{TTIC}}{\text{NTF}} \quad (\text{Ecuación 3})$$

- c. TMPF (Tiempo Medio Para la Falla): relación entre el tiempo total de operación de un equipo (TOE) no reparable y el número total de fallas (NTF) detectadas en ese equipo, en un período establecido. Ecuación 4.

$$\text{TMPF} = \frac{\text{TOE}}{\text{NTF}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

- d. CMPT (Costo de Mantenimiento por Facturación): relación entre el costo total de mantenimiento (CTMN) y la facturación de la empresa en cierto período establecido (FTEP), ecuación 5.

$$\text{CMFT} = \frac{\text{CTMN}}{\text{FTEP}} \times 100 \quad (\text{Ecuación 5})$$

- e. CMRP (Costo de Mantenimiento por Valor de Reposición): relación entre el costo total de mantenimiento acumulado (CTMN) de un determinado equipo y el valor de compra de un equipo nuevo o valor de reposición (VLRP), ecuación 6.

$$\text{CMRP} = \frac{\sum \text{CTMN}}{\text{VLRP}} \times 100 \quad (\text{Ecuación 6})$$

No todos los indicadores mostrados anteriormente son necesarios. Entre todos ellos habrá que elegir aquellos que sean realmente útiles, aquellos que aporten información vital para la organización, para evitar convertirlos en una larga lista de datos.

Además, hay que tener en cuenta que en la mayoría de los casos es necesario adaptarlos a cada organización, efectuando pequeñas modificaciones que hagan que los indicadores seleccionados estén perfectamente adaptados a las necesidades concretas de información que se tengan.

Cuando se dispone de un sistema GMAO (Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador), el cálculo de estos indicadores suele ser bastante más rápido. Se deben automatizar dichos cálculos, para poder generar informes que contenga a todos los indicadores empleados.

En caso de que el sistema de información de los indicadores sea en soporte papel, entonces, es conveniente desarrollar pequeñas aplicaciones (hoja de cálculo) para poder facilitar los cálculos de dichos indicadores. Para esto, hay que seleccionar mucho más cuidadosamente los indicadores, pues es más costoso calcularlos, además la frecuencia con que se obtengan deberá ser menor.

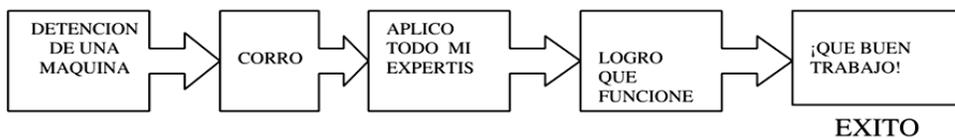
Es importante tener en cuenta que no sólo es valioso conocer el valor de un indicador sino también su evolución. Por ello, en el documento en el que se expongan los valores de los indicadores seleccionados, se debería reflejar su evolución, mostrando junto al valor actual los valores de períodos anteriores (meses o años), para conocer si la situación mejora o empeora.

También es importante fijar un objetivo para cada uno de estos indicadores, de manera que la persona que lea el documento donde se exponen los valores alcanzados en el período que se analiza, comprenda fácilmente si el resultado obtenido es bueno o malo.

¿Para qué sirve llevar indicadores?

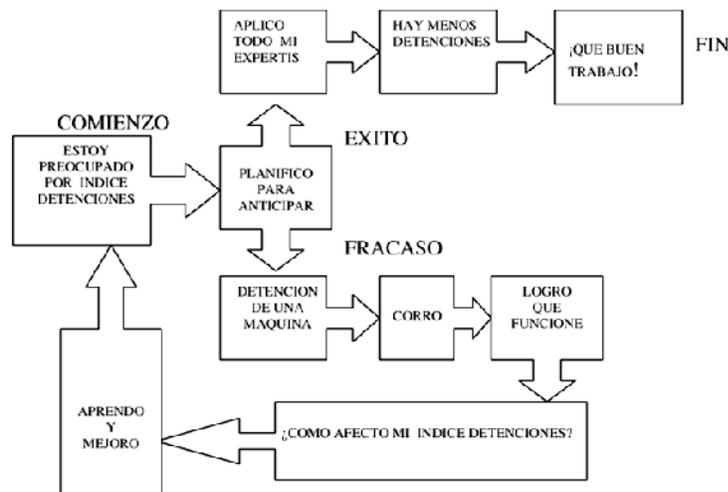
Los indicadores sirven para distintos fines. Uno de ellos es motivar al personal, otro muy importante es saber cómo se está respecto de los objetivos. Las figuras 2 y 3 ilustran el viejo y el nuevo paradigma, respectivamente, en el mantenimiento y la importancia de los indicadores en los mismos.

Figura 2. Viejo paradigma del mantenimiento



Fuente: Pauro Ricardo. Indicadores de mantenimiento. p. 3, septiembre 2010

Figura 3. Nuevo paradigma sobre el mantenimiento



Fuente: Pauro Ricardo. Indicadores de mantenimiento. p. 3, septiembre 2010

Existen otro tipo de indicadores de mantenimiento que pueden ayudar a complementar la información sobre el desempeño de programas de mantenimiento, estos se mencionan a continuación:

a. Disponibilidad total

Si se calcula correctamente, es muy sencillo de aplicar, este se define como el cociente de dividir el número de horas que un equipo ha estado disponible para producir y, el número de horas totales de un periodo seleccionado, ecuación 7.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Hrs. Totales} - \text{Hrs. Parada por mantenimiento}}{\text{Hrs. totales}} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Dónde:

- Tiempo disponible para producir: resta entre las horas totales de un equipo y las horas por parada de mantenimiento en el mismo, dentro de un periodo de tiempo establecido.
- Horas totales: tiempo de trabajo total asignado al equipo, dentro de un periodo de tiempo establecido.

En plantas que estén dispuestas por líneas de producción, en las que la parada de una máquina supone la paralización de toda la línea, es interesante calcular la disponibilidad de cada una de las líneas, y después calcular la media aritmética.

De igual manera, en plantas en las que los equipos no estén dispuestos por líneas, es interesante definir una serie de equipos significativos, pues es seguro que calcular la disponibilidad de absolutamente todos los equipos será largo, laborioso y no aportará ninguna información valiosa.

Una vez obtenida la disponibilidad de cada uno de los equipos significativos, debe calcularse la media aritmética para obtener la disponibilidad total de la planta, lo cual se representa en la ecuación 8.

$$\text{Disponibilidad total} = \frac{\sum \text{Disponibilidad de equipos significativos}}{\text{No. de equipos significativos}} \quad (\text{Ecuación 8})$$

b. Índice de cumplimiento de la planificación (ICP)

A pesar de que resulta muy lógico el empleo de este indicador, en realidad son muy pocas las plantas que lo tienen implementado, ecuación 9.

$$\text{ICP} = \frac{\text{No. órdenes acabadas en fecha planificada}}{\text{No. de órdenes totales}} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Dicho indicador consiste en la proporción de órdenes de trabajo que se acabaron en la fecha programada o con anterioridad, sobre el total de órdenes de trabajo totales, generadas dentro de cierto tiempo establecido. Este indicador mide el grado de acierto de la planificación.

c. Tiempo medio de resolución de una orden de trabajo (OT)

Este basa su cálculo en el cociente de dividir el número de OT resueltas, entre el número de horas que se han dedicado a mantenimiento, ecuación 10.

$$\text{Tiempo medio} = \frac{\text{No. de OT resueltas}}{\text{No. de hrs. dedicadas al mantenimiento}} \quad (\text{Ecuación 10})$$

d. Proporción de costo de la mano de obra de mantenimiento

Es el cociente de dividir el número total de horas empleadas en mantenimiento, entre el costo total de la mano de obra, ecuación 11.

$$\text{Costo de hora medio} = \frac{\text{No. de hrs. de mantenimiento}}{\text{Costo total de la mano de obra de mantto.}} \quad (\text{Ecuación 11})$$

e. Índice de emergencias (IME)

Representa el porcentaje de horas invertidas en la realización de OT con carácter de prioridad máxima, ecuación 12.

$$\text{IME} = \frac{\text{Hrs. OT prioridad máxima}}{\text{Hrs. totales de mantenimiento}} \quad (\text{Ecuación 12})$$

La importancia de este indicador radica en que cuanto mayor sea el número de OT de emergencia, peor es la gestión que se hace del mantenimiento.

El caso extremo, para este indicador, es el de plantas que no tienen implementado ningún plan de mantenimiento preventivo. En dichos casos el indicador toma el valor de cien por ciento (máximo valor posible). Por extraño que pueda parecer, son muchas las plantas en las que este indicador alcanza su valor máximo.

Una variante más sencilla de dicho indicador, es realizar el cálculo no sobre horas invertidas en OT de prioridad máxima, sino en el número de OT de prioridad máxima sobre el número de OT total.

1.2.6. Órdenes de trabajo

Las órdenes de trabajo (OT), dependen del plan estratégico en el que se especifican los cambios, reparaciones, emergencias y demás aspectos que son destinados a los equipos.

Esta orden será solicitada por el jefe de turno y aprobada por el encargado de mantenimiento. Debe tenerse en cuenta que ningún trabajo podrá iniciarse sin la respectiva orden y sin que las condiciones requeridas para dicha labor hayan sido verificadas personalmente por el encargado. Para esto se debe tener en cuenta la siguiente jerarquía:

- a. Emergencia: son aquellos trabajos que atañen a la seguridad de la planta, fallas que significan grandes pérdidas de dinero o que pueden ocasionar grandes daños a otras unidades. Estos trabajos deben iniciarse de forma inmediata y ser ejecutados de forma continua hasta su completa finalización. Pueden abarcar horas extra para cumplir con dichos objetivos.

- b. Urgente: son trabajos en los que debe intervenir lo antes posible, en un plazo de 24 a 48 horas después de solicitada la orden. Sigue el procedimiento normal de programación. No requiere sobre tiempos, salvo que ello sea solicitado explícitamente por la dependencia correspondiente.

- c. Normal: son trabajos rutinarios cuya iniciación es tres días después de solicitada la orden de trabajo, pero pueden iniciarse antes, siempre que exista la disponibilidad de recursos. Sigue un procedimiento normal de programación.

- d. Permanente: son trabajos que pueden esperar un buen tiempo, sin dar lugar a convertirse en críticos. Su límite de iniciación es dos semanas después de haberse solicitado la orden de trabajo. Sigue la programación normal y puede ser atendido en forma cronológica de acuerdo con lo programado.

Las órdenes de trabajo de mantenimiento son originadas por solicitudes de trabajo, las cuales son generadas cada vez que se advierte que un trabajo de mantenimiento es necesario, que luego de ser firmadas por el Jefe de Mantenimiento se convierten en órdenes de trabajo.

Una ficha de orden de trabajo debe contener características sobre: el código de identificación del equipo, la sección de trabajo, el número de actividad que se debe realizar, la prioridad, la fecha, la mano de obra, los materiales y demás aspectos que se consideren relevantes.

El uso de las órdenes de trabajo conlleva varios pasos a seguir, los cuales se mencionan a continuación:

- a. Planificación de la ejecución de las órdenes de trabajo, incluyendo:
 - Tiempo estimado de ejecución
 - Planificación de las tareas a efectuar
- b. Control de las órdenes de trabajo pendientes, incluyendo la carga de trabajo que representan para cada servicio ejecutor y para cada equipo.
- c. Control de las órdenes de trabajo terminadas, incluyendo:
 - Equipo afectado
 - Materiales y personal previsto
 - Materiales y personal consumidos
 - Desviación respecto a los costes previstos
- d. Control de las órdenes de trabajo cedidas a subcontratistas externos.

Además de lo expuesto anteriormente, se pueden considerar los elementos que se exponen a continuación, para poder comprender de una mejor manera todo lo referente a la aplicación y utilización de las órdenes de trabajo.

Flujos y circuitos

Se permite definir múltiples tipos y formatos de OT. Cada tipo de orden puede incluirse en un circuito o *workflow* que determina si provienen de una solicitud de reparación o *si deben* ser enlazadas con otros documentos como entradas y salidas de almacén, contratos con contratistas externos, etc.

Correctivo

Controla las órdenes de mantenimiento correctivo. Se inicia mediante solicitud de trabajo por parte del departamento correspondiente. Las solicitudes introducidas pueden generar órdenes de trabajo automáticas o quedar a la espera de aprobación, dependiendo del circuito establecido.

Preventivo

Las órdenes de trabajo se generan desde el calendario de planificación y determinan la ejecución de los procedimientos de mantenimiento preventivo en cada uno de los equipos.

Predictivo

Este tipo de flujo de órdenes de trabajo permite la recogida de mediciones y la verificación de que los equipos se encuentran entre los valores preestablecidos, pudiendo generar alarmas o mensajes de advertencia si no se encuentran entre los valores considerados como apropiados.

Responsabilidades

Las órdenes de trabajo pueden establecer un *workflow* de autorizaciones, permitiendo la definición de responsables que autoricen la ejecución de los trabajos. Existen distintas categorías de responsables tal como es el caso del responsable de la reparación, el que da el visto bueno a las tareas realizadas y el responsable administrativo.

1.2.7. Diagrama causa-efecto

El diagrama causa-efecto es una representación gráfica que muestra la relación cualitativa e hipotética de los diversos factores que pueden contribuir a un efecto o fenómeno determinado.

Los aspectos más importantes que deben tenerse bajo consideración, para la elaboración de los diagramas causa-efecto, son los que se describen a continuación:

Características principales

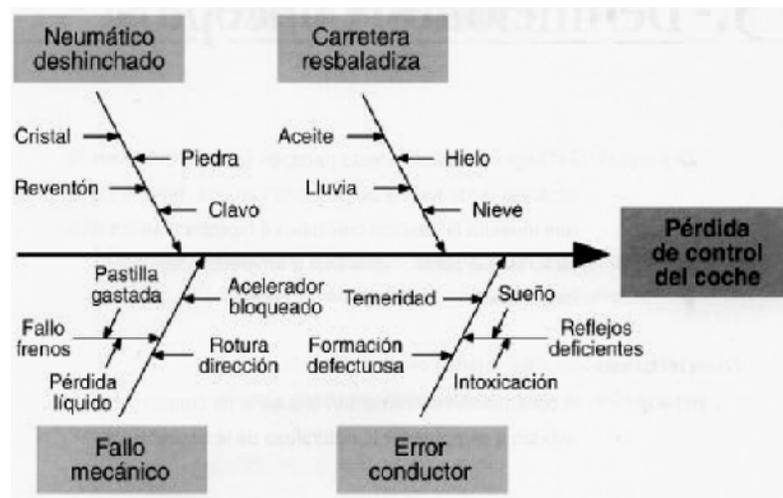
Las características que ayudan a comprender la naturaleza de la herramienta (diagrama causa-efecto), se enlistan en la parte siguiente:

- Impacto visual: muestra las interrelaciones entre un efecto y sus posibles causas de forma ordenada, clara, precisa y de un solo golpe de vista.
- Capacidad de comunicación: muestra las posibles interrelaciones causa-efecto permitiendo una mejor comprensión del fenómeno en estudio, incluso en situaciones muy complejas.

- Centra la atención: de todos los componentes del grupo en un problema específico de forma estructurada y sistemática.

En la figura 4, se puede observar un ejemplo de la forma correcta en la que se debe estructurar un diagrama causa-efecto.

Figura 4. Ejemplo de un diagrama causa-efecto



Fuente: www.fundibeq.org, agosto 2010

Utilización

Por sus características principales la construcción de un diagrama de causa-efecto es muy útil cuando por ejemplo, se quiere compartir conocimientos sobre múltiples relaciones de causa y efecto.

Por ser una ordenación de relaciones lógicas, el diagrama de causa-efecto es una herramienta frecuentemente utilizada para:

- Obtener teorías sobre relaciones de causa-efecto en un proceso lógico paso a paso

- Obtener una estructuración lógica de muchas ideas dispersas, como una lista de ideas, resultado de una tormenta de ideas

Utilización en las fases de un proceso de solución de problemas

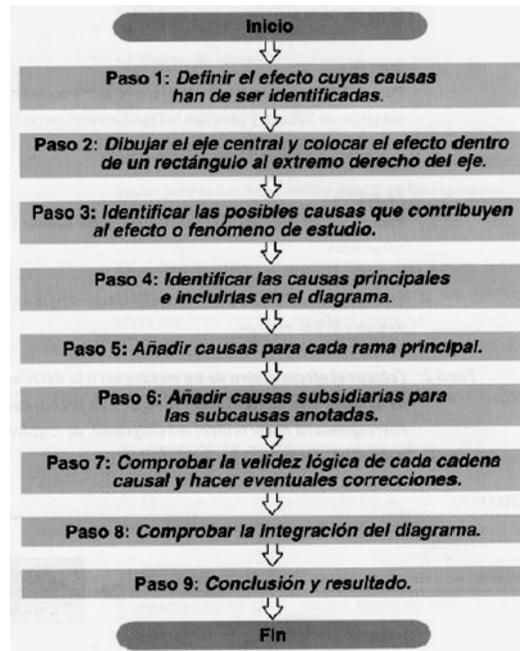
Durante un proceso de solución de problemas hay tres puntos en los que la construcción de un diagrama causa-efecto puede ser muy útil:

- En la fase de diagnóstico, durante la formulación de posibles causas del problema
- En la fase de corrección, para considerar soluciones alternativas
- Para pensar de forma sistemática, sobre las posibles resistencias en la organización a la solución propuesta

Construcción

Para la construcción de un diagrama causa-efecto, puede hacerse uso de los pasos establecidos en la figura 5, página 43.

Figura 5. Proceso para la elaboración de un diagrama causa-efecto



Fuente: www.fundibeq.org, agosto 2010

Interpretación

Un diagrama causa-efecto proporciona un conocimiento común de un problema complejo, con todos sus elementos y relaciones claramente visibles a cualquier nivel de detalle.

Su utilización ayuda a organizar la búsqueda de causas de un determinado fenómeno pero no las identifica y no proporciona respuestas a preguntas.

Debe considerarse, además, que existen posibles problemas y deficiencias de interpretación, en los que se puede citar los siguientes.

- La más grave de las posibles falsas interpretaciones del diagrama causa-efecto es, confundir esta disposición ordenada de teorías con los datos reales. Este diagrama es útil para desarrollar teorías, representar y contrastar su consistencia lógica, pero no sustituye su comprobación empírica.
- Construcción del diagrama sin un análisis previo de los síntomas del fenómeno objeto de estudio. En tales casos el efecto descrito puede ser muy general y estar mal definido, por lo que el diagrama resultante sería innecesariamente grande, complejo y difícil de utilizar.
- Deficiencias en el enunciado (sesgos) que limiten las teorías que se exponen y consideran, pudiendo pasar por alto las causas reales que contribuyen al efecto.
- Deficiencias en la identificación y clasificación de las causas principales. Esta clasificación está íntimamente ligada con la capacidad de la herramienta para la organización eficaz de la búsqueda de causas reales.

2. DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN ACTUAL

2.1. Inventario general del equipo

2.1.1. Elaboración de formato de ficha técnica

Para lograr la identificación y control de los equipos del Laboratorio de Operaciones Unitarias, tanto a nivel general como a nivel individual, se establecen dos modelos de fichas técnicas. Estos modelos son estándar y de uso general para todos los equipos.

El primer modelo de ficha técnica va dirigido al control individual de los equipos, y consta de cinco partes esenciales. La primera parte es el Membrete, en el cual se presentan los datos que identifican al documento y al lugar en el cual es utilizado dicho documento.

La segunda parte del modelo es la Descripción General, con campos que proporcionan información sobre datos de origen, también cuenta con una sección para poder colocar una fotografía del equipo, con el fin de mostrar la constitución física de este en el momento de la realización del inventario.

La tercera parte de la ficha es la de Componentes, en la cual se deben colocar todos los componentes o sistemas del cual estén conformados los equipos; por ejemplo motores, medidores de nivel, sistema eléctrico, etc.

La cuarta parte es Partes sujetas a mantenimiento, donde se deben describir todas aquellas partes o sistemas importantes, que deben de tener prioridad a la hora de llevar a cabo las tareas de mantenimiento. También incluye una parte para colocar las observaciones relevantes que deben tomarse en cuenta para cada equipo.

La quinta y última parte que constituye al modelo, es la de Repuestos usuales; esta parte es importante para las labores de mantenimiento ya que identifica algunas de las partes del equipo más susceptibles a cambios durante las labores de mantenimiento. A continuación se presenta el modelo de la ficha técnica individual. Figura 6, página 47.

Figura 6. Propuesta de ficha técnica individual de equipos

	FICHA TÉCNICA	Facultad Ingeniería, USAC Escuela Ingeniería Química Lab. Operaciones Unitarias
---	----------------------	---

Fecha toma datos: _____

DESCRIPCIÓN GENERAL

Equipo: _____

No. inventario: _____

Marca: _____

No. serie: _____

Fecha inicio operación: _____

Fabricante: _____

Modelo: _____

Fecha adquisición: _____

Costo del equipo: _____

Foto

COMPONENTES

Nombre	Datos Técnicos	Descripción

Observaciones: _____

PARTES SUJETAS A MANTENIMIENTO

No.	Parte	Descripción
1		
2		
3		
4		
5		

Observaciones: _____

REPUESTOS USUALES

Repuesto	Descripción

Inventariado por: _____ Autorizado por: _____

Cargo: _____ Cargo: _____

Fuente: propia

El modelo anterior se constituye como la primera parte del historial que debe crearse para cada equipo. En otras palabras, este modelo debe mantenerse archivado para poder disponer de información vital y específica, clave, para la toma de decisiones en cualquier situación futura.

El segundo modelo de ficha técnica, va dirigido hacia el control general de todos los equipos. A través de este modelo se logra la identificación rápida y sencilla de los equipos, y además tiene la capacidad de aportar la información necesaria para la solución de problemas de menor importancia.

Este modelo de ficha técnica general, consta de un membrete y de una sección conformada por un listado de características fundamentales de cada uno de los equipos del laboratorio. El modelo se presenta en la figura 7, página 49.

2.1.2. Recolección de información técnica

La recolección de información o el proceso de llenar los modelos de las fichas técnicas, debe hacerse conforme a información documentada previamente, a partir de la experiencia de personas relacionadas con los equipos y/o con información obtenida directamente de los equipos durante el proceso de toma de inventario.

Esta última fuente de información se aplica en mayor medida para llenar el primer modelo de ficha técnica. Figura 6, página 47.

En cuanto al proceso de llenar el modelo de la ficha técnica general (figura 7, página 49) es recomendable llevarlo a cabo posteriormente al finalizar con las fichas técnicas individuales, ya que estas incluyen información en común con esta última.

A manera de ejemplo, se utiliza un equipo del laboratorio para representar la manera de emplear los dos modelos de fichas técnicas expuestas anteriormente, figuras 8 (página 51) y 9 (página 52).

Figura 8. Ejemplo de llenado de ficha técnica individual de equipos

	FICHA TÉCNICA	Facultad Ingeniería, USAC Escuela Ingeniería Química Lab. Operaciones Unitarias
---	----------------------	---

Fecha toma datos: 10/08/2010

DESCRIPCIÓN GENERAL

Equipo: Torre de enfriamiento

No. inventario: EIQ/LOU-01

Marca: _____

No. serie: _____

Fecha inicio operación: _____

Fabricante: Estudiantes del laboratorio

Modelo: _____

Fecha adquisición: _____

Costo del equipo: _____



COMPONENTES

Nombre	Datos Técnicos	Descripción
2 bombas centrifugas	2Hp; 3,450 rpm; 220V; 5.6A	Bomba de drenado y admisión
Línea de vapor	Manómetros, válvulas, trampas de vapor, termómetros, etc	Considera todos los componentes de la tubería
Sistema extracción de aire	Motor c.c., canales, turbina, rectificador	Encargado de conducir aire desde afuera hacia adentro

Observaciones: También debe considerarse el sistema eléctrico y la línea de transporte de agua fría.

PARTES SUJETAS A MANTENIMIENTO

No.	Parte	Descripción
1	Motor c.c	Brinda movimiento a la turbina de extracción
2	Turbina de extracción	Comprende la turbina y el sistema de ductos de aire
3	Rectificador	Equipo auxiliar del mototr que transforma c.a. en c.c.
4	Sistema de tubería	Considera toda la tubería de vapor y la de agua
5	Estructura de la torre	La pileta y la propia composición física de la torre

Observaciones: Se debe procurar darle mantenimiento al área circundante del equipo, tal como las líneas de seguridad pintadas en el suelo, etc.

REPUESTOS USUALES

Repuesto	Descripción
Termómetros tipo reloj	Escala medición 0 - 100°C
Manómetros sin glicerina	Escala medición 0 - 200psi
Llaves de paso	Tipo globo de 1/2"
Pintura	Demarcar área circundante y para estructura caldera

Inventariado por: Hugo Ixco Autorizado por: Ing. José Manuel Tay

Cargo: Estudiante de cierre de Ing. Mecánica Ind. Cargo: Supervisor del laboratorio

Fuente: propia

2.2. Evaluación del equipo en operación

2.2.1. Elaboración de formato de evaluación operacional

El modelo para la evaluación operacional de los equipos reside en la recolección de información, fundamentalmente, procedente de la inspección de los equipos durante su período de funcionamiento, a través de los sentidos (vista, olfato, tacto y oído).

Para el complemento de los datos anteriores, se establece en el formato, una parte para colocar información suministrada por dispositivos de medición de variables (temperatura, presión, caudal, entre otros). Este modelo es de uso general para todos los equipos.

Esta evaluación operacional, también se propone dentro del mantenimiento predictivo ya que conforma un método de análisis muy sencillo y económico de implementar. El formato propuesto se presenta en la figura 10, página 54.

Figura 10. Propuesta de formato de evaluación operacional

	EVALUACIÓN OPERACIONAL	Facultad Ingeniería, USAC Escuela Ingeniería Química Lab. Operaciones Unitarias	
Hoja: _____ de _____			
Año en curso: _____		Semestre en curso: _____	
Descripción general del equipo			
Equipo: _____		No. inventario: _____	
Marca: _____		Modelo: _____	
Evaluación perceptiva			
Fecha	Punto de evaluación	Anomalía percibida	
Observaciones: _____ _____			
Medición de variables			
Fecha	Variable medida	Lectura tomada	Descripción
Observaciones: _____ _____			
Supervisado por: _____		Autorizado por: _____	

Fuente: propia

2.2.2. Recolección de datos de evaluación operativa

La información utilizada para llenar los campos (espacios vacíos) del modelo de la ficha de evaluación operativa, se debe recolectar en el momento en que el equipo, bajo análisis, se encuentra en proceso de operación, ya que el propósito de esta inspección evaluativa es determinar anomalías o anormalidades en el funcionamiento del equipo durante el período de evaluación.

El modelo de la ficha de evaluación operativa se divide en dos partes. Para poder llenar la primera parte del modelo, Evaluación perceptiva, se debe hacer una inspección del equipo completo mediante el uso de los sentidos (olfato, oído, tacto y vista).

Es preferible que esta inspección se lleve a cabo por personal que manipula periódicamente el equipo o que le brinda mantenimiento a los mismos, ya que estas personas son más propensas a detectar anomalías en los equipos.

Por medio de la percepción olfativa se puede llegar a identificar: equipos quemados y fugas en sistemas o tuberías; con la percepción auditiva se pueden detectar vibraciones anormales, fricciónamiento de piezas, entre otras; mediante la percepción del tacto se pueden establecer sucesos tales como aumentos de temperatura y vibraciones anormales. Por último, a través de la percepción visual se pueden identificar problemas estructurales, vibraciones, deterioros y demás.

La otra parte del modelo, Evaluación medición de variables, consiste en campos dispuestos a recabar información acerca del comportamiento actual del equipo basándose en las lecturas de distintas variables (temperatura, presión, caudal, y demás). Con esta información y en complemento con la información de la primera parte del modelo, se logra reafirmar o descartar, sospechas sobre el mal funcionamiento de los equipos.

Esta evaluación operativa debe llevarse a cabo en cada una de las jornadas de trabajo programadas para los equipos del Laboratorio de Operaciones Unitarias.

2.3. Establecimiento y aplicación de indicadores de rendimiento de equipos

Los indicadores de rendimiento propuestos para los equipos del Laboratorio de Operaciones Unitarias, se basan primordialmente en la determinación del tiempo funcional de los equipos y en el estudio del manejo de las fallas de los mismos, dentro de un período establecido.

Dichos indicadores son aplicables al análisis de equipos individuales a través de los indicadores: tiempo medio para la falla y disponibilidad. También se comprende el análisis general de los equipos, por medio del Indicador disponibilidad de planta o total.

Para el cálculo del Indicador tiempo medio para la falla (TMPF) se debe emplear la ecuación 4, descrita en la sección 1.2.5, página 30.

El Indicador de disponibilidad para cada equipo, individual, debe calcularse mediante lo desarrollado en la sección 1.2.5, ecuación 7, página 33.

Y en cuanto al cálculo del Indicador de disponibilidad de planta o total, se debe recurrir a la ecuación 8 presentada en la sección 1.2.5, página 34.

Además de los indicadores mencionados anteriormente, se recomienda también, la implementación de los indicadores de mantenimiento *world class* descritos en la sección 1.2.5 (páginas 29 y 30), ecuaciones 2, 3, 5 y 6.

2.4. Cálculo de tiempo de utilización de los equipos

2.4.1. Elaboración de formato de horas de trabajo del equipo

El modelo de la ficha para recolectar la información acerca de las horas de trabajo funcionales por equipo, se establece con carácter de uso estándar y general, para todos los equipos del laboratorio.

Este modelo incluye un membrete con datos para la identificación del mismo y la identificación del lugar de aplicación; además de una tabla que abarca información sobre el equipo, el tiempo utilizado, la fecha en que se utilizó el equipo y, por último, una parte de observaciones en donde se añade información relevante en cuanto a la funcionalidad del equipo en el tiempo de utilización.

Tomando en cuenta que las personas que con frecuencia manipulan los equipos del Laboratorio de Operaciones Unitarias, son los estudiantes y que éstos trabajan distribuidos en grupos, entonces, es recomendable que la persona designada como Coordinador del grupo, sea quien se encargue de llenar los campos (espacios vacíos) de la ficha en cuestión.

2.4.2. Determinar horas de trabajo promedio de los equipos

El cálculo de las horas de trabajo funcionales promedio, se obtiene mediante la información recolectada en la columna Total Hrs dentro del modelo de la ficha anterior (figura 11, página 58) así como por medio del uso de la fórmula de la media aritmética, ecuación 13.

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Dónde:

$\sum X$ = Sumatoria de todos los datos que se tengan.

n = Número total de datos que se tienen.

Además debe tenerse en cuenta que la información tomada de la ficha de la figura 11, página 58, tiene que limitarse a cierto período de análisis (día, semana, mes, año, según sea conveniente).

2.5. Diagnóstico situacional de los equipos

Para poder obtener un diagnóstico situacional de equipos representativo, normalmente, se recurre a la consideración de una inmensa gama de factores ligados a la conservación y buen desempeño de los equipos. Pero la consideración de demasiados factores repercute de manera negativa en el proceso de hallazgo de la forma o método adecuado, capaz, de abarcar y emplear correctamente a todos los factores en cuestión.

Por ende se recurre a reducir el número de factores que pasarán a formar la base del método.

La reducción de factores se logra al enfocarse en la selección de aquellos factores considerados de mayor relevancia y que a su vez puedan representar de manera concisa los aspectos sobresalientes del programa de mantenimiento que se quiere implementar.

El método propuesto para llevar a cabo el diagnóstico funcional de los equipos del Laboratorio de Operaciones Unitarias, no busca representar la forma definitiva ni la única opción para obtener diagnósticos situacionales de equipos. Más bien tiene como fin conformar la base de un método que pueda mejorarse y personalizarse según sean las necesidades futuras dentro del laboratorio.

Las ponderaciones, porcentajes, escalas, así como la mayoría de los demás datos necesarios para el desarrollo del mismo, están establecidos de acuerdo a criterio personal.

En caso de querer modificar los valores de las ponderaciones, porcentajes y demás datos numéricos incluidos dentro del método propuesto para el diagnóstico de equipos, expuesto más adelante, debe recurrirse a las consideraciones surgidas dentro de un grupo de análisis creado para este fin.

El grupo de análisis debe estar conformado por personas del Laboratorio de Operaciones Unitarias de cualquier rango jerárquico y que especialmente posean una gran experiencia con respecto a los equipos que se desean evaluar.

El desarrollo del método propuesto para el diagnóstico de equipos es semejante al método de Factores Ponderados empleado en el proceso de localización industrial.

Para el desarrollo del método propuesto se procede a determinar un valor numérico que debe compararse con ciertas escalas predefinidas, tabla III. Cada escala representa un cierto grado de calidad atribuible al estado funcional del equipo en cuestión, en otras palabras, cada escala nos proporciona un diagnóstico situacional.

La distribución de dichas escalas se observa en la tabla III.

Tabla III. Escalas para selección de grado de calidad de equipos

Rango de escalas	Grado de calidad situacional	Observaciones	
		Equipo nuevo	Equipo no nuevo
8.1 a 10.0	Condición bajo replantación	Replantar sistema de mantenimiento	Plantear cambio de equipo
6.6 a 8.0	Condición bajo cambios	Hacer cambios radicales en sistema de mantenimiento; buscar mejoras	Evaluar cambio o forma de uso de equipo; hacer cambios en sistema de mantenimiento
4.1 a 6.5	Condición bajo revisión	Revisar métodos de ejecución y control sobre sistemas de mantenimiento; buscar mejoras	Revisar métodos de ejecución y control sobre el sistema de mantenimiento; buscar mejoras
2.1 a 4.0	Condición bajo supervisión	Llevar mayor control y buscar mejoras para el sistema de mantenimiento	Llevar mayor control y buscar mejoras para el sistema de mantenimiento
0 a 2.0	Perfectas condiciones	Manter y permanecer en búsqueda de mejoras para el sistema de mantenimiento	Manter y permanecer en búsqueda de mejoras para el sistema de mantenimiento

Fuente: propia

Cabe recalcar que los datos contenidos en la tabla III, así como los de las tablas IV (p. 62) y V (p. 63) son valores ligados a criterio personal.

Para poder determinar el número que debe compararse con las escalas descritas anteriormente, se empieza por seleccionar un grupo de factores fundamentales, los cuales preferiblemente deben ser indicadores de mantenimiento. Ya que estos son creados con el fin de evaluar matemáticamente las situaciones dentro del laboratorio que influyen de manera radical en el buen desempeño del proceso de mantenimiento.

Seleccionar indicadores de mantenimiento como factores del método de diagnóstico de equipos, proporciona la ventaja de establecer el diagnóstico situacional de equipos en términos del mismo período de tiempo (mes, trimestre, semestre, año, entre otros) utilizado para el cálculo de los indicadores.

Una vez establecidos los factores, se asigna una ponderación numérica porcentual a cada uno de ellos (con sumatoria igual al cien por ciento), acorde al grado de importancia que tenga cada uno de ellos dentro del lugar de aplicación.

A continuación, en la tabla IV, se muestran los factores propuestos y sus respectivas ponderaciones numéricas porcentuales. Dichos factores son los factores considerados como los más adecuados para conformar la base del método de diagnóstico de equipos propuesto.

Tabla IV. Factores y ponderaciones propuestos para el método de diagnóstico de equipos

Factor	Ponderación (%)
Tiempo de servicio	5
Indicador tiempo medio para la falla	10
Indicador cumplimiento planificación	20
Número de fallas registradas	25
Indicador de disponibilidad	40
	Σ 100

Fuente: propia

El Tiempo de servicio, tabla IV, se refiere a la cantidad de tiempo total (meses, años), que el equipo ha funcionado dentro del establecimiento.

Una vez conocido el tiempo de servicio del equipo, se procede a encontrar la ponderación porcentual correspondiente según la tabla V.

Tabla V. Ponderaciones para tiempos de servicio de equipos propuestas

Tiempo de servicio (años)	Pond. consecuente (%)
0 a 3	5
3 a 7	20
7 a 15	35
De 15 en adelante	40

Fuente: propia

Para calcular los valores correspondientes a los Indicadores de tiempo medio para la falla y disponibilidad (tabla IV, p. 62) se aplica el mismo proceso establecido en la sección 2.3, ecuaciones 4 (p. 30) y 7 (p.33) respectivamente.

La identificación del Número de fallas registradas, debe centrarse en primer lugar, en el mismo período de tiempo empleado con los demás factores calculados anteriormente. Y en segundo lugar se debe recurrir al inverso del valor arrojado por el Indicador tiempo medio para la falla, o bien, acudiendo a datos contenidos en el historial de fallas, sección 3.2.3.2, página 100.

En cuanto al valor del Indicador cumplimiento de planificación, se utiliza la ecuación 9, mostrada en la sección 1.2.5, página 34.

Para un mayor desempeño en cuanto al desarrollo del método, se introduce el modelo Hoja cálculo para diagnóstico, mostrado en la figura 12, página 64.

Figura 12. Modelo propuesto para el desarrollo del método de diagnóstico de equipos

	Hoja cálculo para diagnóstico	Facultad de Ingeniería, USAC Escuela de Ingeniería Química Laboratorio de Operaciones Unitarias	
Fecha: _____			
Equipo: _____ Marca: _____	No. inventario: _____ Modelo: _____		
Factor	Valor del factor	Ponderación (%)	Producto (V. factor)(Ponderación)
		Σ	Σ
Observaciones: _____ _____			
Autorizado por: _____			

Fuente: propia

Debido a que dentro del Laboratorio de Operaciones Unitarias no se cuenta actualmente con toda la información histórica óptima necesaria (datos para calcular indicadores de mantenimiento) para desarrollar el método descrito anteriormente, se procede a mostrar un ejemplo acerca de la aplicación del método de diagnóstico de equipos utilizando datos ficticios.

Para poder calcular adecuadamente los indicadores de mantenimiento que conforman la mayor parte de la base del método de diagnóstico de equipos (tabla IV, página 62) se recomienda hacerlo a través de la inclusión de datos recolectados y almacenados a lo largo de por lo menos un año de actividades. Ya que de esta manera se logra obtener una serie de valores de los indicadores mucho más apegados a la realidad del Laboratorio de Operaciones Unitarias.

Ejemplo: para el desarrollo del método en cuestión se utilizarán los factores y ponderaciones establecidas anteriormente, tablas III (p. 61), IV (p. 62) y V (p. 63), así como otros valores supuestos correspondientes a una caldera pirotubular, tabla VI.

Tabla VI. Datos para ejemplo de método de diagnóstico de equipos

Factor	Valor de Factor	Ponderación (%)
Tiempo de servicio	5 años	5
Indicador tiempo medio para la falla	10 meses /falla	10
Indicador cumplimiento planificación	0.83	20
Número de fallas registradas	(1)/(10 mes/falla)	25
Indicador de disponibilidad	0.98	40
		Σ 100

Fuente: propia

Para proceder correctamente con el uso del modelo (figura 12, página 64) se plantean las siguientes recomendaciones.

- Poner mucha atención a la hora de colocar datos en la columna Valor del factor, ya que para todos los valores correspondientes a factores representados por indicadores de mantenimiento, debe sacarse primero el inverso del mismo y luego proceder a colocarlo dentro de la columna en mención.
- El valor numérico obtenido en la sumatoria de los valores de la columna Producto, es el valor que se debe comparar con las escalas descritas previamente (tabla III, página 61). Como resultado de esta comparación se obtiene el diagnóstico situacional del equipo bajo análisis.

La figura 13, página 67, muestra la manera correcta en que debe utilizarse el modelo hoja cálculo para diagnóstico. En dicha figura se puede apreciar el desarrollo del método diagnóstico de equipos del ejemplo en curso.

Figura 13. Ejemplo de utilización del modelo de hoja de cálculo para diagnóstico de equipos

	Hoja cálculo para diagnóstico	Facultad de Ingeniería, USAC Escuela de Ingeniería Química Laboratorio de Operaciones Unitarias
---	--------------------------------------	---

Fecha: _____ 16 de noviembre de 2010 _____

Equipo: _____ Caldera pirotubular _____
 Marca: _____ Distral _____

No. inventario: _____ EIQ-LOU-001 _____
 Modelo: _____ D2-70 BHP _____

Factor	Valor del factor	Ponderación (%)	Producto (V. factor)(Ponderación)
Tiempo de servicio (5 años)	0.2	5	0.01
Indicador tiempo medio para la falla	10 mes/falla	10	1
Indicador cumplimiento de planificación (0.83)	(1) / (0.83)	20	0.24
Número de fallas registradas	0.1 fallas/mes	25	0.025
Indicador de disponibilidad (0.98)	(1) / (0.98)	40	0.41
	Σ	100	Σ 1.68

Observaciones: El diagnóstico resultante refleja la situación mensual del equipo, ya que los factores con dimensionales de tiempo se obtuvieron con valores para el periodo de un mes.

Autorizado por: Ing. Juan Mata, Jefe de sección de mantenimiento.

Fuente: propia

Según el valor numérico obtenido en la sumatoria de la columna Producto (figura 13, página 67) el cual es de 1.68 y tras compararlo con los rangos numéricos de la tabla III, p. 61. Se establece que el diagnóstico situacional para la caldera es de perfectas condiciones.

2.6. Organización actual del mantenimiento

2.6.1. Tipo de servicio de mantenimiento proporcionado a los equipos

El mantenimiento que actualmente se proporciona a los equipos del Laboratorio de Operaciones Unitarias es del tipo correctivo, y este se le brinda a los equipos solamente después de ocurrida alguna falla.

No se acostumbra brindar a los equipos del laboratorio otro tipo de mantenimiento ya que no se cuenta con programas de mantenimiento preventivo ni de otra índole.

Además, cabe mencionar que dicho mantenimiento correctivo es manejado a través del *outsourcing* (contratación de empresa externa).

2.6.2. Recursos utilizados en actividades de mantenimiento

Los recursos utilizados en las actividades de mantenimiento correctivo quedan sujetos a los recursos (personal, repuestos, insumos y demás) establecidos por la empresa externa contratada, en ese instante, para cubrir con dicho servicio de mantenimiento.

En otras palabras, la empresa externa contratada para desarrollar las actividades de mantenimiento correctivo dentro del Laboratorio de Operaciones Unitarias es la que dispone y maneja los recursos necesarios para cubrir el mantenimiento de los equipos.

3. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO -PREVENTIVO-PREDICTIVO PARA EL EQUIPO EXPERIMENTAL

3.1. Desarrollo del programa de mantenimiento correctivo

3.1.1. Elaboración de formato de solicitud de mantenimiento

El formato para la solicitud de servicios de mantenimiento está creado con carácter multifuncional ya que puede utilizarse con cualquiera de los tres tipos de mantenimiento (correctivo, preventivo y predictivo) que comprende el programa.

Con este tipo de formato se obtiene la ventaja de manejar y controlar un sólo formato en lugar de tres distintos, evitándose gran número de acciones administrativas y la asignación de espacio físico y digital innecesario para el resguardo de los mismos.

La solicitud propuesta incluye: un membrete para identificar el documento y el establecimiento en donde se aplica, una sección para colocar el número de control del documento, un área para identificar el carácter de la solicitud del servicio Planificado, para labores de mantenimiento preventivas y predictivas y No Planificado, que puede ser: Urgente, para casos donde debe brindarse la mayor prioridad o Normal, para casos de desperfectos menores o con mayor tiempo de reacción), entre otras.

El formato propuesto para la solicitud de servicios de mantenimiento se muestra en la figura 14.

Figura 14. Modelo de solicitud de servicio de mantenimiento propuesto

	SOLICITUD SERVICIO DE MANTENIMIENTO	USAC, Facultad Ingeniería Escuela Ingeniería Química Lab. Operaciones Unitarias						
No. control: _____								
Carácter	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">No planificado</td> <td style="text-align: center;">Urgente</td> <td style="width: 20px;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Planificado</td> <td style="text-align: center;">Normal</td> <td></td> </tr> </table>	No planificado	Urgente		Planificado	Normal		Tipo mantenimiento
No planificado	Urgente							
Planificado	Normal							
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">Correctivo</td> <td style="width: 20px;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Preventivo</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Predictivo</td> <td></td> </tr> </table>	Correctivo		Preventivo		Predictivo	
Correctivo								
Preventivo								
Predictivo								
Descripción de servicio solicitado		Observaciones						
<u>Especificaciones del equipo involucrado</u>								
Equipo: _____	No. inventario: _____							
Marca: _____	Modelo: _____							
Nivel de criticidad: _____								
Información del solicitante	Información personal asignado							
Fecha: _____	Fecha: _____							
Nombre: _____	Nombre: _____							
Puesto: _____	Puesto: _____							
Firma: _____	Firma: _____							
Autorizado por: _____								

Fuente: propia

3.1.2. Elaboración de formato de orden de trabajo

La ficha correspondiente para las órdenes de trabajo (OT) tiene como fin recopilar información relevante y de forma clara acerca de todo el desarrollo del servicio de mantenimiento brindado a los equipos involucrados.

Dicha información recabada puede ligarse a muchos procesos, métodos o cuestionamientos que se tengan acerca de los desperfectos hallados en los equipos y/o de los recursos empleados para solventar los respectivos desperfectos de los equipos (materiales, tiempo y mano de obra).

El modelo para las OT cuenta con: un membrete para identificar el documento y el lugar de trabajo, espacio para colocar los datos de la solicitud de servicio de mantenimiento que le dio origen, así como una breve descripción sobre el servicio brindado, el cual incluye la descripción de los recursos empleados. Dicho modelo se presenta en la figura 15, página 74.

Figura 15. Modelo de orden de trabajo propuesto

	ORDEN DE TRABAJO	Facultad Ingeniería, USAC Escuela Ingeniería Química Lab. Operaciones Unitarias		
Fecha: _____		No. control: _____		
Datos de solicitud de servicio de mantenimiento				
No. control: _____		Carácter: _____		
Tipo de mantto.: _____		Equipo: _____		
No. inventario: _____		Nivel de criticidad: _____		
Nombre y cargo de solicitante: _____				
Servicio solicitado: _____				

Datos de servicio aportado				
Fecha inicio: _____		Fecha terminado: _____		
Tiempo empleado (hrs.): _____		Cantidad personal empleado: _____		
Nombre y cargo responsable: _____				
Descripción de trabajo realizado		Observaciones		
Repuestos empleados		Materiales empleados		Observaciones
Descripción	Cantidad	Descripción	Cantidad	
Supervisado y aprobado por: _____		Fecha: _____		
Trabajo recibido por: _____		Fecha: _____		

Fuente: propia

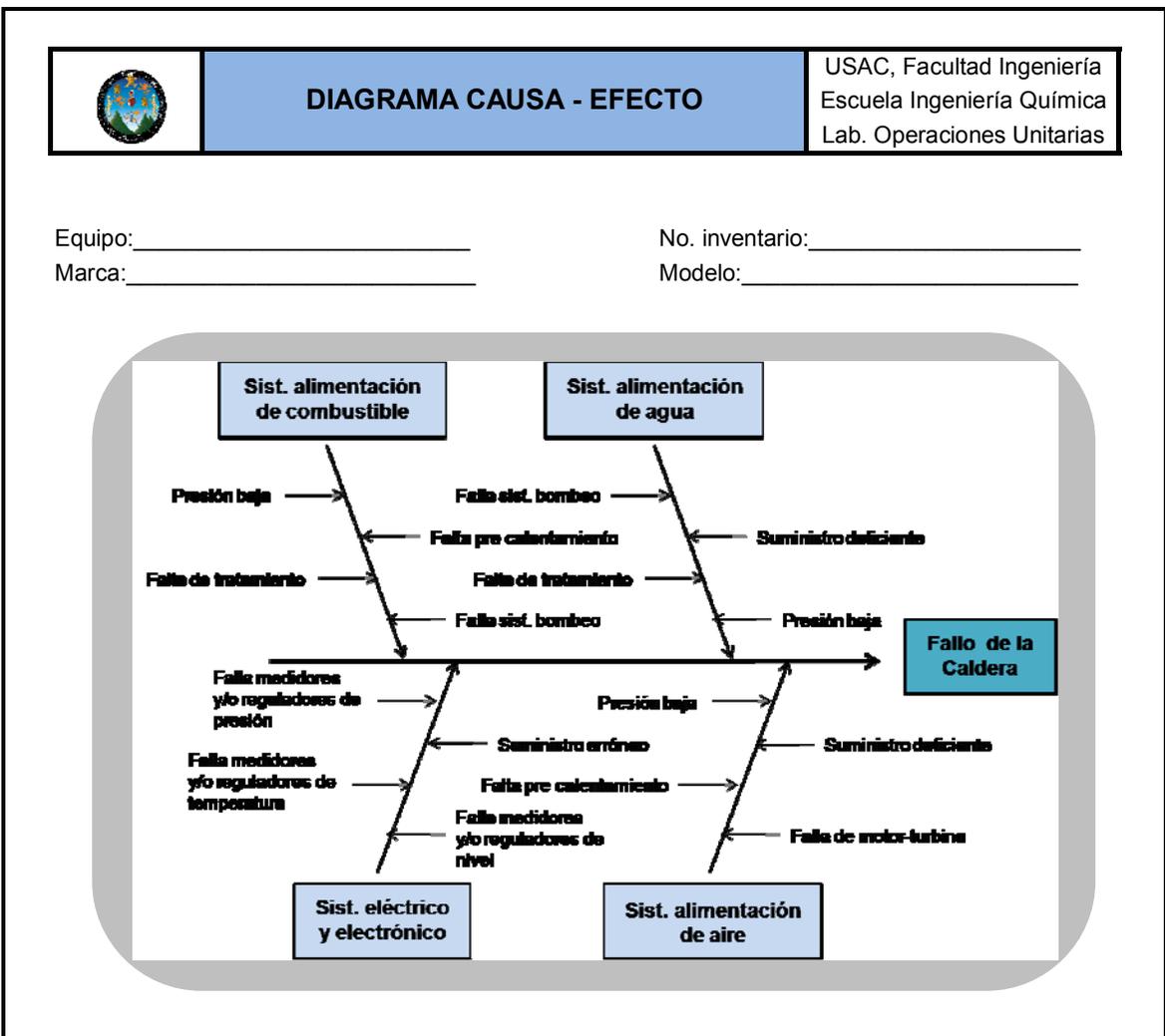
3.1.3. Establecer diagramas causa-efecto

Los diagramas casusa-efecto son diagramas que se establecen con el fin de poder disponer de un soporte técnico, sencillo y práctico, a la hora de que el equipo falle y que el personal de mantenimiento no encuentre una solución a dicho fallo del equipo.

La aplicación de este tipo de diagramas se da generalmente en casos en que: se contrata nuevo personal de mantenimiento, con poca experiencia; cuando se requiere otra hipótesis, en cuanto al origen del fallo; o por necesidad de ampliar conocimientos a través de capacitaciones.

El diagrama causa-efecto mostrado en la figura 16, página 76, está hecho conforme una caldera pirotubular, debido a que la caldera es uno de los equipos más importantes para el Laboratorio de Operaciones Unitarias. Para poder elaborar este diagrama, se consideró, la parte teórica de la sección 1.2.7, páginas de la 40 a la 44.

Figura 16. Ejemplo de diagrama causa-efecto para una caldera piro-tubular



Fuente: propia

3.1.4. Determinación de recursos en base a diagramas causa-efecto

3.1.4.1. Repuestos e insumos necesarios

Los repuestos e insumos necesarios para llevar a cabo las labores de mantenimiento correctivo son difíciles de calcular, debido a que no se sabe con certeza el tipo de falla y la magnitud con que se producirán los fallos en los equipos dentro de un período establecido.

En base a lo anterior, es que se debe procurar la elaboración y utilización de los diagramas causa-efecto.

A través de estos se pueden aportar ideas para la identificación de los posibles fallos de equipos, y por consiguiente establecer el tipo y cantidad de repuestos e insumos necesarios para solventarlos.

Al inicio de la implementación del programa de mantenimiento, el cálculo de repuestos e insumos, se puede basar solamente en los repuestos e insumos requeridos en las actividades de mantenimiento preventivo, ya que estas actividades se planifican con la intención de evitar acciones correctivas en los equipos. A la vez, se lograría un ahorro monetario al no invertir en repuestos e insumos innecesarios.

La sección 3.2.2.3, páginas 96 y 97, da una idea básica acerca de los insumos y repuestos que se deben tener bajo consideración.

Luego de por lo menos un año de actividades de mantenimiento, dentro del Laboratorio de Operaciones Unitarias, se debe complementar el cálculo de repuestos e insumos con información recabada en las órdenes de trabajo implementadas, esto con el fin de optimizar los stocks de dichos recursos.

3.1.4.2. Personal óptimo necesario

El personal óptimo necesario, alude a la cantidad óptima de personas de las que se debe disponer para llevar a cabo las labores de mantenimiento correctivo.

Para el mantenimiento correctivo no es necesario contar con personal exclusivo, ya que de ser así se tendría a un grupo de personas con demasiado tiempo ocioso. En base a que las labores de dicho personal solamente se limitan a responder a acciones correctivas (sólo cuando falle el equipo).

La cantidad óptima de personal de mantenimiento debe corresponder a un sólo grupo de personas a las cuales les sean atribuidas todas las labores del programas de mantenimiento propuesto.

3.1.4.3. Tiempo requerido

El tiempo requerido para realizar una labor de mantenimiento correctivo, casi nunca va a ser el mismo, ya que en cada ocasión se puede presentar una mayor o menor cantidad de sucesos que compliquen la compostura del fallo del equipo en cuestión.

A través de la información contenida en las OT propuestas, para llevar el control del mantenimiento de los equipos del Laboratorio de Operaciones Unitarias, correspondientes a como mínimo un año de labores, se llegará a establecer un tiempo promedio para cada suceso correctivo que se haya presentado en dicho período. Para esto, se puede considerar el cálculo de t_s expuesto en el ejemplo de la sección 4.1.1, páginas de la 131 a la 134.

3.1.4.4. Costos aproximados

Debido a que los repuestos e insumos de los que se propone disponer inicialmente para realizar las labores de mantenimiento correctivo, forman parte de los asignados a las labores de mantenimiento preventivo, los costos aproximados de éstos se pueden observar en la sección 3.2.2.4, páginas de la 97 a la 99.

3.2. Desarrollo del programa de mantenimiento preventivo

3.2.1. Priorización de mantenimiento de equipos inventariados

3.2.1.1. Definición de parámetros de priorización

Para la definición de los parámetros de priorización, se emplea la adaptación del método Análisis de Criticidad, desarrollado por el Instituto de Desarrollo Profesional y Técnico, Venezuela, PDVSA CIED, 2002.

Este método emplea como parámetros o criterios de priorización del mantenimiento los siguientes factores.

- a. Frecuencia de fallas: representa las veces que falla el equipo durante un período establecido
- b. Nivel de producción: producción aproximada suministrada por el equipo
- c. Tiempo promedio para reparar: tiempo promedio para reparar la falla
- d. Impacto en la producción: producción porcentualmente aproximada que se deja de obtener debido a fallas ocurridas
- e. Costo de reparación: costo promedio por falla requerido para reencauzar al equipo a condiciones óptimas de funcionamiento
- f. Impacto en la seguridad personal: posibilidad de surgimiento de eventos no deseados que puedan provocar daños o lesiones a personas
- g. Impacto ambiental: posibilidad de surgimiento de eventos no deseados que puedan provocar daños al ambiente circundante del lugar bajo análisis

3.2.1.2. Establecimiento de niveles de priorización

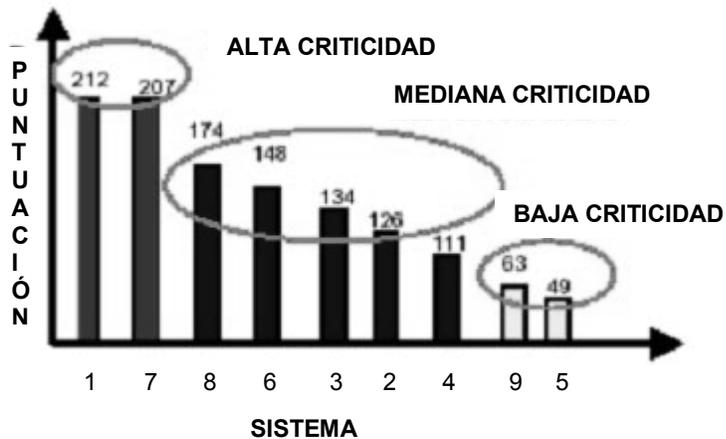
Los niveles de priorización o niveles de criticidad manejados en este método son tres:

- a. Alta criticidad
- b. Mediana criticidad
- c. Baja Criticidad

Cada uno de estos niveles se establecen de acuerdo al valor numérico que alcancen los equipos evaluados, mientras más alto sea el valor numérico, más alto será su nivel de criticidad. Para diferenciar fácilmente cada uno de los niveles de criticidad correspondientes a cada equipo se procede a elaborar una gráfica de barras con los valores obtenidos para cada equipo, de mayor a menor.

La figura 17 muestra un ejemplo de la identificación de dichos niveles de criticidad a través de un gráfico de barras elaborado con los resultados de la aplicación del método de criticidad.

Figura 17. Gráfica de apoyo para análisis de criticidad de equipos



Fuente: Mendoza Rosendo. El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional. p. 14, septiembre 2010

Para la obtención de dicho valor numérico se procedió a evaluar numéricamente los criterios descritos anteriormente, seguidamente se utilizó la ecuación 14.

$$\text{Criticidad} = (\text{Frecuencia de falla})(\text{Consecuencia}) \quad (\text{Ecuación 14})$$

Donde la consecuencia resulta de la suma expuesta en la ecuación 15.

$$\text{Consecuencia} = a+b \quad (\text{Ecuación 15})$$

Dónde:

a = Costo reparación + impacto seguridad personal + impacto ambiental.

b = (Impacto en labores)(tiempo promedio reparar).

3.2.1.3. Clasificación de los equipos según niveles de priorización

En esta sección se muestra y desarrolla el método que da lugar a la clasificación de los equipos del Laboratorio de Operaciones Unitarias, según la criticidad de los equipos.

En primer lugar se establecen los equipos significativos del laboratorio que formarán parte dentro del desarrollo del análisis de criticidad. En la tabla VII, página 83, se muestran todos los equipos significativos del Laboratorio de Operaciones Unitarias.

Tabla VII. Equipo seleccionado para desarrollo de análisis de criticidad

No.	EQUIPO	DESCRIPCIÓN
1	Caldera	Es del tipo pirotubular
2	Bomba centrífuga de alimentación	Provee agua a cuatro equipos distintos
3	Bomba de aceite	Intercambiador de calor, tubos acero inox.
4	Bomba de aceite	Intercambiador de calor, tubos de cobre
5	Rectificador	Del equipo, bomba centrífuga
6	Bomba centrífuga	Del equipo, tubería de accesorios
7	Bomba centrífuga	Del equipo, medidores de flujo
8	Compresor	Del equipo de refrigeración
9	Sistema eléctrico	Del equipo de destilación
10	Agitador	Del equipo, torre de extracción
11	Turbina de movimiento de aire	Del equipo, secador
12	Bomba centrífuga	Del equipo de la torre de enfriamiento
13	Turbina de extracción de aire	Del equipo de la torre de enfriamiento
14	Bomba dosificadora	Del equipo de filtración
15	Compresor	Del equipo de filtración

Fuente: Ingeniero Manuel Tay. Supervisor del Laboratorio de Operaciones Unitarias, enero 2011

El segundo paso es establecer los criterios de priorización o criticidad, los cuales ya fueron establecidos en la sección 3.2.1.1, páginas 79 y 80.

El tercer paso radica en seleccionar un método que ayude a evaluar numéricamente los criterios anteriores. Para esto se hace uso de una encuesta (figura 18, página 84) para lo cual se elige a un grupo de personas, de todo tipo y rango jerárquico, inmiscuidos en el tema, para ponderar a los equipos en base a lo establecido en la encuesta.

Dicha encuesta debe proporcionarse, una por cada equipo y a cada una de las personas que integran el grupo de análisis.

Para el caso del ejemplo de la aplicación del método de análisis de criticidad, dentro del Laboratorio de Operaciones Unitarias, se proporcionó a cada persona del grupo de análisis (tabla IX, página 86) quince encuestas, puesto que son quince los equipos que se seleccionaron anteriormente, tabla VII.

A continuación se muestra, en la figura 18, la encuesta señalada.

Figura 18. Modelo de encuesta para análisis de criticidad

	ENCUESTA ANÁLISIS DE CRITICIDAD	Facultad Ingeniería, USAC Escuela Ingeniería Química Lab. Operaciones Unitarias																							
Fecha: _____																									
Datos entrevistado																									
Nombre: _____		Cargo: _____																							
Datos equipo analizado																									
Equipo: _____		No. inventario: _____																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">1. Frecuencia de falla</th></tr> <tr><td>No más de 1 por año</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td>Entre 2 y 15 por año</td><td></td></tr> <tr><td>Entre 16 y 30 por año</td><td></td></tr> <tr><td>Entre 31 y 50 por año</td><td></td></tr> <tr><td>Más de 50 por año</td><td></td></tr> </table>	1. Frecuencia de falla		No más de 1 por año		Entre 2 y 15 por año		Entre 16 y 30 por año		Entre 31 y 50 por año		Más de 50 por año		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">2. Tiempo promedio reparar</th></tr> <tr><td>Menos de 4 horas</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td>Entre 4 y 8 horas</td><td></td></tr> <tr><td>Entre 8 y 24 horas</td><td></td></tr> <tr><td>Entre 24 y 48 horas</td><td></td></tr> <tr><td>Más de 48 horas</td><td></td></tr> </table>	2. Tiempo promedio reparar		Menos de 4 horas		Entre 4 y 8 horas		Entre 8 y 24 horas		Entre 24 y 48 horas		Más de 48 horas	
1. Frecuencia de falla																									
No más de 1 por año																									
Entre 2 y 15 por año																									
Entre 16 y 30 por año																									
Entre 31 y 50 por año																									
Más de 50 por año																									
2. Tiempo promedio reparar																									
Menos de 4 horas																									
Entre 4 y 8 horas																									
Entre 8 y 24 horas																									
Entre 24 y 48 horas																									
Más de 48 horas																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">3. Impacto sobre labores</th></tr> <tr><td>No afecta las labores</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td>25% de impacto</td><td></td></tr> <tr><td>50% de impacto</td><td></td></tr> <tr><td>75% de impacto</td><td></td></tr> <tr><td>La afecta totalmente</td><td></td></tr> </table>	3. Impacto sobre labores		No afecta las labores		25% de impacto		50% de impacto		75% de impacto		La afecta totalmente		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">4. Costo de reparación (Q.)</th></tr> <tr><td>Menos de 3 mil</td><td>Menos de 3 mil</td></tr> <tr><td>Entre 3 y 15 mil</td><td>Entre 3 y 15 mil</td></tr> <tr><td>Entre 15 y 35 mil</td><td></td></tr> <tr><td>Más de 35 mil</td><td>Más de 35 mil</td></tr> </table>	4. Costo de reparación (Q.)		Menos de 3 mil	Menos de 3 mil	Entre 3 y 15 mil	Entre 3 y 15 mil	Entre 15 y 35 mil		Más de 35 mil	Más de 35 mil		
3. Impacto sobre labores																									
No afecta las labores																									
25% de impacto																									
50% de impacto																									
75% de impacto																									
La afecta totalmente																									
4. Costo de reparación (Q.)																									
Menos de 3 mil	Menos de 3 mil																								
Entre 3 y 15 mil	Entre 3 y 15 mil																								
Entre 15 y 35 mil																									
Más de 35 mil	Más de 35 mil																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">5. Impacto ambiental</th></tr> <tr><td>No origina ningún impacto ambiental</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td>Contaminación ambiental baja, afecta pequeña parte del lab.</td><td></td></tr> <tr><td>Contaminación ambiental moderada, afecta el lab. pero no sale</td><td></td></tr> <tr><td>Contaminación ambiental alta, afecta áreas fuera del lab.</td><td></td></tr> </table>			5. Impacto ambiental		No origina ningún impacto ambiental		Contaminación ambiental baja, afecta pequeña parte del lab.		Contaminación ambiental moderada, afecta el lab. pero no sale		Contaminación ambiental alta, afecta áreas fuera del lab.														
5. Impacto ambiental																									
No origina ningún impacto ambiental																									
Contaminación ambiental baja, afecta pequeña parte del lab.																									
Contaminación ambiental moderada, afecta el lab. pero no sale																									
Contaminación ambiental alta, afecta áreas fuera del lab.																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><th colspan="2">6. Impacto en salud y seguridad personal</th></tr> <tr><td>No origina heridas ni lesiones</td><td style="width: 50px;"></td></tr> <tr><td>Puede ocasionar lesiones o heridas leves no incapacitantes</td><td></td></tr> <tr><td>Puede ocasionar lesiones o heridas con incapacidad temporal entre 1 y 30 días</td><td></td></tr> <tr><td>Puede ocasionar lesiones con incapacidad superior a 30 días o incapacidad permanente</td><td></td></tr> </table>			6. Impacto en salud y seguridad personal		No origina heridas ni lesiones		Puede ocasionar lesiones o heridas leves no incapacitantes		Puede ocasionar lesiones o heridas con incapacidad temporal entre 1 y 30 días		Puede ocasionar lesiones con incapacidad superior a 30 días o incapacidad permanente														
6. Impacto en salud y seguridad personal																									
No origina heridas ni lesiones																									
Puede ocasionar lesiones o heridas leves no incapacitantes																									
Puede ocasionar lesiones o heridas con incapacidad temporal entre 1 y 30 días																									
Puede ocasionar lesiones con incapacidad superior a 30 días o incapacidad permanente																									

Fuente: PDVSA E & P Occidente. Venezuela, 2002, septiembre 2010 (adaptación)

Para poder evaluar correctamente las respuestas obtenidas en las encuestas se empleó la tabla VIII, la cual muestra el puntaje que debe asignársele a cada una de las posibles respuestas.

Tabla VIII. Ponderación de criterios de criticidad

 PONDERACIÓN DE CRITERIOS DE CRITICIDAD		Facultad Ingeniería, USAC Escuela Ingeniería Química Lab. Operaciones Unitarias
1. Frecuencia de falla		Puntaje
No más de 1 por año		1
Entre 2 y 15 por año		2
Entre 16 y 30 por año		3
Entre 31 y 50 por año		4
Más de 50 por año		5
2. Tiempo promedio reparar		Puntaje
Menos de 4 horas		1
Entre 4 y 8 horas		2
Entre 8 y 24 horas		3
Entre 24 y 48 horas		4
Más de 48 horas		5
3. Impacto sobre labores		Puntaje
No afecta las labores		0.05(Falla)
25% de impacto		0.3(Falla)
50% de impacto		0.5(Falla)
75% de impacto		0.8(Falla)
La afecta totalmente		1.0(Falla)
4. Costo de reparación (Q.)		Puntaje
Menos de 3 mil		3
Entre 3 y 15 mil		5
Entre 15 y 35 mil		10
Más de 35 mil		25
5. Impacto ambiental		Puntaje
No origina ningún impacto ambiental		0
Contaminación ambiental baja, afecta peq. parte del lab.		5
Contaminación ambiental moderada, afecta el lab. pero no sale		10
Contaminación ambiental alta, afecta áreas fuera del lab.		25
6. Impacto en salud y seguridad personal		Puntaje
No origina heridas ni lesiones		0
Puede ocasionar lesiones o heridas leves no incapacitantes		5
Puede ocasionar lesiones o heridas graves con incapacidad temporal entre 1 y 30 días		10
Puede ocasionar lesiones con incapacidad superior a 30 días o incapacidad permanente		25

Fuente: PDVSA E & P Occidente. Venezuela, 2002, septiembre 2010 (adaptación)

El Laboratorio de Operaciones Unitarias cuenta únicamente con una persona especializada, tabla IX, para poder conformar el grupo de análisis necesario para el desarrollo del método de Análisis de criticidad.

De esta cuenta, los resultados obtenidos al final del análisis de criticidad no tienen la suficiente valorización para poder representar la situación real del laboratorio.

Los resultados solamente servirán como referencia temporal en cuanto a la clasificación de los niveles de criticidad de los equipos. Esperando a que, el grupo de análisis, se pueda conformar con por lo menos cinco personas, posteriormente.

Tabla IX. Personal del laboratorio de Operaciones Unitarias a encuestar

No.	NOMBRE	CARGO
1	Ing. José Manuel Tay	Profesor titular y Supervisor del laboratorio

Fuente: Laboratorio de Operaciones Unitarias, enero 2011

El cuarto paso, consiste en hallar el valor de criticidad de cada uno de los equipos bajo análisis, en base a las respuestas obtenidas en las encuestas realizadas al Ingeniero José Manuel Tay. Tabla X, página 87.

Tabla X. Resultados de análisis de criticidad

No.	EQUIPO ANALIZADO	PUNTAJES CORRESPONDIENTES A RESPUESTAS DADAS						CRITICIDAD
		1. Frecuencia de falla	2. Tiempo promedio de reparar	3. Impacto sobre labores	4. Costo de reparación	5. Impacto ambiental	6. Impacto en salud y seg. Personal	
1	Caldera pirotubular	1	5	1(0 fallas)	5	0	25	30
2	Bomba centrífuga de alimentación	1	5	0.5(0 fallas)	3	0	0	3
3	Bomba de aceite - ICTAx	1	5	0.3(0 fallas)	3	0	0	3
4	Bomba de aceite - ICTCu	1	5	0.3(0 fallas)	3	0	0	3
5	Rectificador - Eq. bomba centrífuga	1	5	0.3(0 fallas)	5	0	0	5
6	Bomba centrífuga - Eq. tub. de accesorios	1	5	0.3(0 fallas)	3	0	0	3
7	Bomba centrífuga - Eq. medidores de flujo	1	5	0.3(0 fallas)	3	0	0	3
8	Compresor - Eq. de refrigeración	1	5	0.3(0 fallas)	3	0	0	3
9	Sist. eléctrico - Eq. de destilación	1	4	0.3(0 fallas)	3	0	0	3
10	Agitador - Eq. torre de extracción	1	3	0.3(0 fallas)	3	0	0	3
11	Turbina de mov. de aire - Eq. Secador	1	5	0.3(0 fallas)	3	0	0	3
12	Bomba centrífuga - Eq. torre de enfria.	1	5	0.3(0 fallas)	3	0	0	3
13	Turbina extrac. de aire - Eq. torre de enfria.	1	5	0.3(0 fallas)	5	0	0	5
14	Bomba dosificadora - Eq. de filtración	1	5	0.3(0 fallas)	3	0	0	3
15	Compresor - Eq. de filtración	1	5	0.3(0 fallas)	3	0	0	3

Fuente: propia

Para la pregunta número tres, de la tabla X (p. 87), se utiliza el valor 0 fallas, el cual representa el número de veces que dicho equipo falló dentro del período 2010 (en base a información del Ingeniero Manuel Tay).

El valor de criticidad de cada equipo, mostrado en la tabla X, se calcula por medio de las ecuaciones 14 (p. 81) y 15 (p. 82) dictadas en la sección 3.2.1.2, página 80, reemplazando cada uno de los términos de las fórmulas por los puntajes correspondientes a las respuestas de las encuestas. A continuación se da un ejemplo sobre el cálculo realizado para hallar el valor de criticidad de la caldera pirotubular.

$a = \text{costo de reparación} + \text{impacto ambiental} + \text{impacto seguridad personal}$

$$a = 5 + 0 + 25 = 30$$

$b = (\text{impacto en labores})(\text{tiempo promedio en reparar})$

$$b = [(1)(0 \text{ fallas})](5) = 0$$

$\text{Consecuencia} = a + b$

$$\text{Consecuencia} = 30 + 0 = 30$$

$\text{Criticidad} = (\text{Frecuencia de falla})(\text{Consecuencia})$

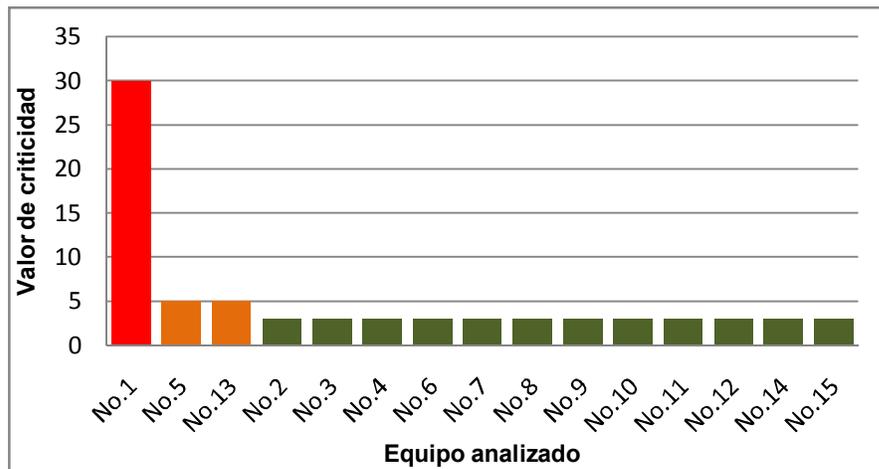
$$\text{Criticidad} = (1)(30) = 30$$

Este último valor es el que indica el valor de criticidad que posee la caldera pirotubular analizada.

Finalmente, y como quinto paso, se elabora una gráfica de barras que contenga el valor de criticidad ligado a cada equipo analizado.

Observando la gráfica resultante, figura 19, y empleando el criterio correspondiente en cuanto al establecimiento de los límites de cada nivel (alta, mediana y baja) se asignan los niveles de criticidad a cada equipo del laboratorio, tabla XI.

Figura 19. Gráfica resultante del análisis de criticidad de equipos



Fuente: propia

Tabla XI. Clasificación de equipos del Laboratorio de Operaciones Unitarias según niveles de criticidad

No.	Equipo analizado	Nivel de criticidad
1	Caldera pirotubular	ALTO
5	Rectificador - Eq. bomba centrífuga	MEDIO
13	Turbina extrac. de aire - Eq. torre de enfria.	MEDIO
2	Bomba centrífuga de alimentación	BAJO
3	Bomba de aceite - ICTAx	BAJO
4	Bomba de aceite - ICTCu	BAJO
6	Bomba centrífuga - Eq. tub. de accesorios	BAJO
7	Bomba centrífuga - Eq. medidores de flujo	BAJO
8	Compresor - Eq. de refrigeración	BAJO
9	Sist. eléctrico - Eq. de destilación	BAJO
10	Agitador - Eq. torre de extracción	BAJO
11	Turbina de mov. de aire - Eq. Secador	BAJO
12	Bomba centrífuga - Eq. torre de enfria.	BAJO
14	Bomba dosificadora - Eq. de filtración	BAJO
15	Compresor - Eq. de filtración	BAJO

Fuente: propia

3.2.2. Identificación de actividades de mantenimiento preventivo

3.2.2.1. Actividades de mantenimiento preventivo por equipo

La recolección e identificación de las actividades de mantenimiento preventivo aplicables a cada equipo representa un arma poderosa en cuanto a prolongar la vida útil de los equipos y a evitar cualquier tipo de fallos inesperados se refiere. Por esta razón es que hay que poner mucho énfasis en esta parte.

Para poder disponer de un buen grupo de actividades de mantenimiento por equipo, se debe recurrir a varias fuentes de información, con el fin de poder cubrir de manera óptima todos los aspectos de mantenimiento del equipo.

En ocasiones, cubrir adecuadamente todos estos aspectos de mantenimiento, no se logra mediante las referencias de una sola fuente de información. Regularmente se deben acudir a tres:

- a. Información contenida en manuales, folletos y cualquier otro tipo de documento aportado por el fabricante del equipo
- b. Información que se obtiene de la experiencia y conocimientos del personal de mantenimiento así como de otras fuentes genéricas (empresas similares)
- c. Información proveniente de tareas de mantenimiento obligatorias legalmente

En lo referente a los equipos del Laboratorio de Operaciones Unitarias y a manera de ejemplo para la identificación de actividades de mantenimiento preventivo de equipos, se presenta en la tabla XII un resumen de éstas, correspondientes a una caldera pirotubular. Ya que este es el equipo de mayor relevancia dentro del laboratorio.

Tabla XII. Resumen de actividades de mantenimiento preventivo para una caldera pirotubular

RESUMEN DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	
EQUIPO: Caldera piro tubular	
1	Limpieza integral externa del equipo
2	Verificar estado de manómetros
3	Verificar estado termómetros y termostato
4	Revisar y limpiar sección de agua
5	Revisar y limpiar sección de fuego
6	Verificar estado de válvulas de seguridad
7	Revisar y limpiar aislamiento
8	Verificar estado controladores de presión
9	Verificar estado de boquillas del quemador
10	Verificar sistema bombeo de agua
11	Revisar sistema bombeo de combustible
12	Verificar paro por falla de llama
13	Verificar sistema tratamiento de agua
14	Revisar y limpiar filtros
15	Verificar mando eléctrico
16	Revisar refractario
17	Verificar forro y pintura
18	Revisar y limpiar chimenea
19	Verificar controladores de nivel
20	Verificar estructura general

Fuente: propia

3.2.2.2. Periodicidad de actividades de mantenimiento preventivo

La periodicidad o frecuencia con que se llevan a cabo las actividades de mantenimiento de equipos pueden basarse en las instrucciones del fabricante al inicio, pero una vez dominadas, deben modificarse hasta el punto de adaptarlas a la situación que se vive en el lugar de trabajo. Esto se logra considerando factores como: costo, cantidad de personal, jornadas de trabajo, nivel de criticidad del equipo, materiales y, repuestos empleados.

Debe tenerse presente que posteriormente a la búsqueda y agrupación de las actividades de mantenimiento de acuerdo a la periodicidad de su aplicación, deben ser planificadas en fechas calendario a partir del primer día en que se prevea la ejecución del programa de mantenimiento.

Para el desarrollo del mantenimiento preventivo del Laboratorio de Operaciones Unitarias, se toma a la caldera pirotubular para ejemplificar la selección y agrupación de las actividades de mantenimiento.

Para lo anterior, se diseñan y utilizan formatos que organizan las actividades de acuerdo a la periodicidad y que al mismo tiempo pueden utilizarse como hojas de supervisión del mantenimiento. Figuras 20 (p. 93), 21 (p. 94) y 22 (p. 95).

Figura 20. Actividades mensuales de mantenimiento preventivo para una caldera pirotubular

	ACTIVIDADES MANTENIMIENTO PREVENTIVO	Facultad Ingeniería, USAC Escuela Ingeniería Química Lab. Operaciones Unitarias																		
Equipo: _____		No. inventario: _____																		
Marca: _____		Modelo: _____																		
PERIODICIDAD MENSUAL																				
		<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="6">Registro mensual</th> </tr> <tr> <th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>6</th> </tr> <tr> <th>7</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th><th>11</th><th>12</th> </tr> </thead> </table>	Registro mensual						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Registro mensual																				
1	2	3	4	5	6															
7	8	9	10	11	12															
Inspeccionar las condiciones ambientales en las que se encuentra el equipo																				
Efectuar limpieza integral externa del equipo																				
Revisar y limpiar las boquillas del quemador																				
Revisar y limpiar los electrodos																				
Revisar y limpiar las fotoceldas																				
Revisar y limpiar los cables del transformador																				
Revisar y limpiar el difusor																				
Verificar estado de manómetros, termómetros y termostato																				
Verificar estado de controles de presión																				
Verificar estado de válvulas de seguridad																				
Verificar paro por falla de llama																				
Verificar el funcionamiento en conjunto con el operador del equipo																				
Fecha de realización																				
Firma del técnico																				
Firma del supervisor																				
Tiempo de ejecución (hrs.)																				
Observaciones: _____ _____ _____																				

Fuente: propia

Figura 21. Actividades semestrales de mantenimiento preventivo para una caldera pirotubular, 1 de 2

	ACTIVIDADES MANTENIMIENTO PREVENTIVO	Facultad Ingeniería, USAC Escuela Ingeniería Química Lab. Operaciones Unitarias
Hoja No.: <u> 1 </u> de <u> 2 </u>		
Equipo: _____	No. inventario: _____	
Marca: _____	Modelo: _____	
PERIODICIDAD SEMESTRAL		
	Registro semestral	
	1	2
Inspeccionar las condiciones ambientales en las que se encuentra el equipo		
Efectuar limpieza integral externa		
1. Revisar y limpiar el cuerpo de la caldera		
Sección de agua		
Sección de agua		
Empaquetaduras		
Refractario		
Aislamiento		
Forro y pintura		
Chimenea		
Válvula de seguridad		
Válvula de salida de vapor		
2. Revisar y limpiar el quemador		
Boquillas		
Electrodos		
Cables		
Difusor		
Válvula solenoide		
Motor ventilador		
Empaquetaduras		
3. Revisar y limpiar el sistema eléctrico		
Programador		
Controladores de presión		
Termostátos		
Contactores y protecciones eléctricas		
Conductores eléctricos		
Dispositivos de modulación		
Tablero eléctrico		
4. Revisar y limpiar el sistema de agua		
Motor -bomba de agua		
Control de bajo nivel de agua		
Controles de mando eléctrico		
Líneas de conducción		
Accesorios (filtros y válvulas)		

Fuente: propia

Figura 22. Actividades semestrales de mantenimiento preventivo para una caldera pirotubular, 2 de 2

	ACTIVIDADES MANTENIMIENTO PREVENTIVO	Facultad Ingeniería, USAC Escuela Ingeniería Química Lab. Operaciones Unitarias
Hoja No.: <u> 2 </u> de <u> 2 </u>		
Equipo: _____	No. inventario: _____	
Marca: _____	Modelo: _____	
PERIODICIDAD SEMESTRAL		
	Registro semestral	
	1	2
5. Revisar y limpiar el sistema de combustión		
Bomba de combustible		
Motor de bomba de combustible		
Calentador de combustible		
Válvula reguladora de presión de combustible		
Conjunto motor-compresor		
Línea de conducción		
Accesorios (filtros y válvulas)		
6. Revisar y limpiar el tanque de combustible		
Lado interior del tanque		
Visor de nivel		
Válvulas		
Termómetro		
Línea de abastecimiento, drenaje y ventilación		
7. Verificar el funcionamiento del equipo en conjunto con el operador		
Fecha de realización		
Firma del técnico		
Firma del supervisor		
Tiempo de ejecución (hrs.)		
Observaciones: _____ _____ _____		

Fuente: propia

3.2.2.3. Determinación de recursos necesarios

Los recursos recomendados para poder desarrollar las labores de mantenimiento establecidas en las fichas anteriores se describen en las tablas XIII y XIV (p. 97). Debe aclararse que, los recursos de dichas tablas son los mínimos de los que se deben disponer para darle mantenimiento a una caldera pirotubular.

Tabla XIII. Recursos mínimos para desarrollo de actividades preventivas mensuales de una caldera pirotubular

RECURSOS PARA ACTIVIDADES MENSUALES		
Material gastable	Repuestos mínimos	Herramienta y equipo
Cepillo de alambre	Termostatos	Amperímetro
Cinta aislante	Fotocelda	Destornilladores philips
Cinta teflón	Manómetro	Destornilladores planos
Lija calibre 200	Termómetro	Lámpara de mano
Wipe		Llave cangrejo de 12"
		Navaja para electricista
		Alicate para electricista

Fuente: propia

Tabla XIV. Recursos mínimos para desarrollo de actividades preventivas semestrales de una caldera pirotubular

RECURSOS PARA ACTIVIDADES SEMESTRALES		
Material gastable	Repuestos mínimos	Herramienta y equipo
Cepillo de alambre	Transformador de ignición	Amperímetro
Cinta aislante	Fotocelda	Tenaza
Cinta teflón	Empaquetadura de tortuga	Brocha
Wipe	Empaquetaduras de compuertas	Cinzel
	Terminales	Martillo de bola de 1.5 Lbs.
		Destornilladores philips
		Destornilladores planos
		Compresor de aire
		Llaves allen
		Llaves mixtas
		Llave cangrejo de 12"
		Llave stillson No. 18

Fuente: propia

3.2.2.4. Determinación aproximada de costos de recursos

Los costos de los recursos (materiales gastables, repuestos y herramientas y equipos) propuestos para cubrir las labores de mantenimiento mensuales y semestrales de una caldera pirotubular, se muestran en las tablas XV y XVI, ambas de la página 98.

Estos costos están elaborados en base al contenido de las tablas XIII (página 96) y XIV, cabe mencionar que algunos recursos e insumos no fueron tomados en cuenta en el análisis de costos de las actividades semestrales debido a que ya se incluyeron dentro del análisis de costos de las actividades mensuales, evitando así, redundancia de costos.

Tabla XV. Análisis de costos anuales de recursos e insumos mínimos para el mantenimiento mensual de una caldera pirotubular

COSTOS ANUALES DE RECURSOS PARA ACTIVIDADES MENSUALES					
Material gastable	Cantidad	Costo unitario (Q.)	Total parcial (Q.)	Compras al año	Totales (Q.)
Cepillo de alambre	2	24.50	49.00	3	147.00
Cinta aislante	2	16.50	33.00	10	330.00
Cinta teflón 3/4"	2	3.50	7.00	10	70.00
Bolas de wipe blanco	2	11.75	23.50	10	235.00
Repuestos mínimos	Cantidad	Costo unitario (Q.)	Total parcial (Q.)	Compras al año	Totales (Q.)
Termostato siemens	1	3000.00	3000.00	1	3000.00
Fotocelda	1	125.00	125.00	1	125.00
Manómetro 0 - 200psi	1	480.00	480.00	1	480.00
Termómetro 100°C	1	400.00	400.00	1	400.00
Herramienta y equipo	Cantidad	Costo unitario (Q.)	Total parcial (Q.)	Compras al año	Totales (Q.)
Amperímetro	1	55.00	55.00	1	55.00
Destornilladores philips	2	19.50	39.00	1	39.00
Destornilladores planos	2	24.50	49.00	1	49.00
Lámpara de mano	1	27.00	27.00	1	27.00
Llave cangrejo de 12"	2	97.50	195.00	1	195.00
Navaja para electricista	2	47.00	94.00	1	94.00
Alicate para electricista	2	53.00	106.00	1	106.00
Monto total anual (Q.)					5352.00

Fuente: Industria Avícola de Mixco, S.A.; Sección de Mantenimiento e Ingeniería del Hospital de Accidentes, IGSS 7-19, febrero 2011

Tabla XVI. Análisis de costos anuales de recursos e insumos mínimos para el mantenimiento semestral de una caldera pirotubular

COSTOS ANUALES DE RECURSOS PARA ACTIVIDADES SEMESTRALES					
Material gastable	Cantidad	Costo unitario (Q.)	Total parcial (Q.)	Compras al año	Totales (Q.)
Lija calibre 200	8	4.00	32.00	2	64.00
Repuestos mínimos	Cantidad	Costo unitario (Q.)	Total parcial (Q.)	Compras al año	Totales (Q.)
Transformador de ignición	1	1036.00	1036.00	1	1036.00
Lazo fibra de vidrio para empaques de compuertas (pie lineal)	25	35.00	875.00	1	875.00
Juego empaquetaduras de tortuga	1	486.00	486.00	1	486.00
Terminales	8	1.50	12.00	2	24.00
Herramienta y equipo	Cantidad	Costo unitario (Q.)	Total parcial (Q.)	Compras al año	Totales (Q.)
Tenaza	2	19.00	38.00	1	38.00
Llave stillson No. 18	2	77.00	154.00	1	154.00
Llaves mixtas	1	95.50	95.50	1	95.50
Llaves allen	1	42.00	42.00	1	42.00
Brocha de 1"	2	2.75	5.50	2	11.00
Cinzel de 3/4" X 10"	2	22.50	45.00	1	45.00
Martillo de bola de 1.5 Lbs.	2	26.50	53.00	1	53.00
Compresor de aire de 50 Lts.	1	1555.00	1555.00	1	1555.00
Monto total anual (Q.)					4478.50

Fuente: Industria Avícola de Mixco, S.A.; Sección de Mantenimiento e Ingeniería del Hospital de Accidentes, IGSS 7-19, febrero 2011

De las tablas anteriores se concluye que el costo anual aproximado para la implementación de las labores de mantenimiento preventivo, asciende a la cantidad de Q.9,830.50, considerando solamente las actividades de mantenimiento de la caldera.

De dicha cantidad se debe descontar, en los años venideros, el costo de las herramientas y equipos, debido a que éstos tienen por lo menos una vida útil de tres a cinco años. Además se deben descontar sólo algunos repuestos como el transformador de ignición y el termostato, ya que no suelen fallar a menudo. En consecuencia, el costo de llevar a cabo las labores de mantenimiento a partir del segundo año asciende a Q.3,236.00.

Para poder disponer de un cálculo completo sobre el costo de la implementación de las labores de mantenimiento se tiene que realizar un análisis de costos como el que se muestra en las tablas XV y XVI (ambas de la página 98), para cada uno de los equipos del laboratorio. Y al final el costo total se verá reflejado en la suma de cada uno de los Montos Totales Anuales.

3.2.3. Diseño de formatos de mantenimiento preventivo

3.2.3.1. Ficha técnica

Para llevar a cabo el desarrollo del mantenimiento preventivo dentro del Laboratorio de Operaciones Unitarias, se designa el uso del mismo formato de ficha técnica mostrado en la sección 2.1.1, figura 6, página 47.

3.2.3.2. Historial de fallas

El formato diseñado para el Historial de Fallas o también conocido como Historial del Equipo, es el documento encargado de registrar todas las actividades de mantenimiento a las que haya sido sometido individualmente cada equipo durante toda su vida útil. Por concepto de falla, modificación, adaptación y demás. La figura 23 (p. 101) muestra el formato que está diseñado para emplearse con cualquier equipo del Laboratorio de Operaciones Unitarias.

En el historial de fallas no solamente se lleva el control de todas las actividades de mantenimiento, sino también se lleva el registro y control de los recursos y costos respectivos a cada actividad. Dicha información se puede obtener mayormente mediante los datos contenidos en las OT.

Para poder obtener una mayor organización y eficiencia en cuanto a la utilización del historial de fallas, se recomienda establecer el historial en periodos de un año.

3.2.3.3. Órdenes de trabajo planificadas y no planificadas

Para emplear las OT Planificadas y No planificadas se utiliza el formato descrito en la sección 3.1.2, figura 15, página 74.

La distinción entre una y otra se establece primeramente en la Solicitud servicio de mantenimiento (figura 14, p. 72) que antecede a la OT, y luego se ratifica en el formato de la OT, en la parte Datos de solicitud de servicio de mantenimiento, en el campo Carácter, en donde se debe aclarar si es una OT No planificada del tipo urgente o normal, o si es una OT Planificada.

Las OT Planificadas son aquellas que sirven para dar la orden de ejecución a actividades de mantenimiento calendarizadas. Dichas actividades de mantenimiento surgen de lo descrito en las secciones 3.2.2.1. y 3.2.2.2., páginas de la 90 a la 95, y que posteriormente son programadas en fechas calendario correspondientes a la periodicidad de cada actividad.

Por otra parte, las OT No planificadas son las que se utilizan para dar paso a la ejecución de las mismas actividades de las OT Planificadas, pero con la diferencia de que estas deben ser aplicadas fuera de la planificación establecida. También se consideran dentro de las OT No planificadas, todos aquellos servicios de mantenimiento originados por una falla en los equipos.

3.2.3.4. Órdenes de inspección y visitas

Las inspecciones y visitas propuestas para el mantenimiento preventivo del Laboratorio de Operaciones Unitarias siguen los mismos conceptos y fundamentos descritos en la sección 1.2.3, páginas de la 12 a la 14.

La única diferencia entre los conceptos manejados en el programa de mantenimiento y la teoría, de la sección mencionada anteriormente, radica en que la actividad o proceso que se debe seguir luego del hallazgo de sospechas de fallas en los equipos durante las visitas son las inspecciones para el caso del programa de mantenimiento, mientras que para el caso de la teoría estos se conocen como revisiones.

Para saber en qué ocasión se deben girar las órdenes de visitas e inspecciones se debe hacer referencia a la planificación establecida en el mantenimiento preventivo, la planificación correspondiente al Laboratorio de Operaciones Unitarias se describe en la sección 3.2.4.1, páginas de la 105 a la 107.

El modelo diseñado para cumplir con las órdenes de visitas e inspecciones es el mostrado a continuación, figura 24, página 104.

	ORDEN DE VISITA O INSPECCIÓN	USAC, Facultad Ingeniería Escuela Ingeniería Química Lab. Operaciones Unitarias						
Fecha planificación: _____		No. control: _____						
		<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="background-color: #92d050;">Tipo de orden</td> <td style="text-align: center;">Visita</td> <td style="width: 20px;"></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">Inspección</td> <td></td> </tr> </table>	Tipo de orden	Visita			Inspección	
Tipo de orden	Visita							
	Inspección							
Datos de personal designado								
Nombre: _____		Puesto: _____						
Datos de equipo ligado								
Equipo: _____		No. inventario: _____						
Marca: _____		Modelo: _____						
Parte observada/inspeccionada	Hallazgos/resultados	Recomendaciones						
Fecha y hora inicio: _____		Fecha y hora final: _____						
Autorizado por: _____		Autorizado por: _____						

Figura 24. Modelo de orden de visita o inspección propuesto

3.2.3.5. Hojas de control de horas de trabajo del equipo

Para el control de las horas de trabajo de cada equipo del Laboratorio de Operaciones Unitarias se utiliza el formato diseñado y mostrado en la sección 2.4.1, figura 11, página 58.

3.2.4. Procedimiento para llevar a cabo el mantenimiento preventivo

3.2.4.1. Planeación de visitas e inspecciones

Para planificar las visitas e inspecciones respectivas al mantenimiento preventivo del Laboratorio de Operaciones Unitarias, se debe considerar que las actividades dentro de dicho laboratorio se ven regidas por el periodo de actividades académicas adoptado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, siendo estos, periodos semestrales.

Los límites de cada semestre, de acuerdo los calendarios de actividades manejados por la Facultad de Ingeniería, establecen que el primer semestre normalmente está comprendido de enero a mayo y el segundo desde julio hasta noviembre.

Teniendo en mente la información anterior, se propone la planificación de las visitas para cada fin de mes, de cada uno de los dos semestres. Se procurará realizarlas los días viernes, para no interrumpir los periodos de clase dentro del laboratorio, esto último acorde a la información planteada en la sección 1.1.6, página 5.

Por otra parte, las inspecciones se planificarán de dos maneras: la primera de acuerdo a los resultados arrojados por las visitas, o sea que, se procederá si durante la visita se encuentran indicios de posibles fallas en los equipos.

La segunda, se planificará una inspección obligatoria por semestre, como medida preventiva de la posible ocurrencia de fallos inesperados y que mediante las visitas no se hayan podido identificar.

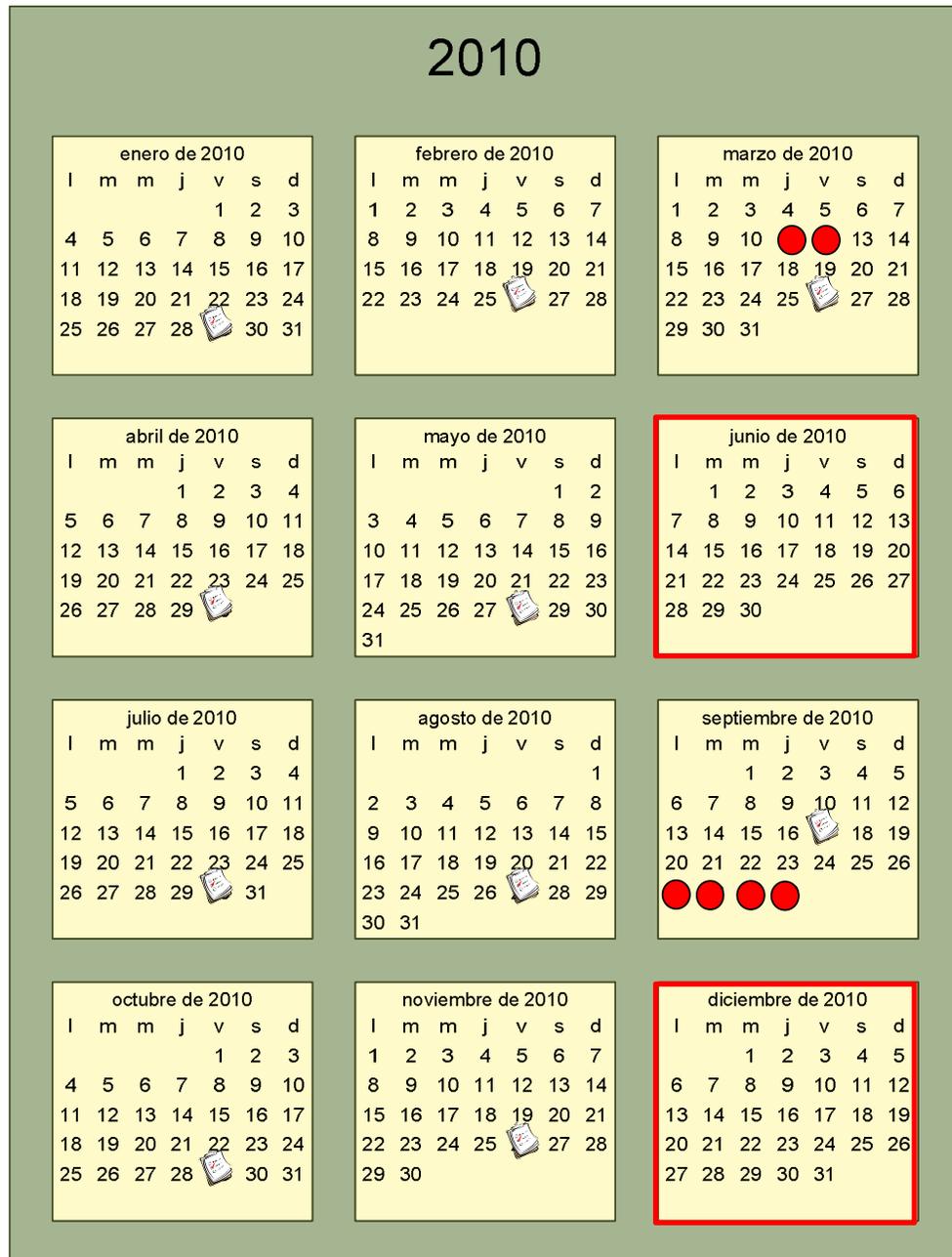
Para no interrumpir el desarrollo de las actividades dentro del laboratorio, se proponen dos posibles fechas por semestre, en el primer semestre, sería la semana que antecede la Semana Mayor o bien durante el mes de junio, en el cual se desarrollan los cursos de vacaciones.

Las posibles fechas para el segundo semestre son, la semana de congresos estudiantiles en septiembre o en diciembre, cuando se desarrolla el curso de vacaciones.

La figura 25, página 107, es un ejemplo de la planificación de visitas e inspecciones (solamente las inspecciones obligatorias) en base a lo propuesto en los párrafos anteriores.

Las fechas con las figuras  representan los días en que se deben llevar a cabo las visitas dentro del laboratorio, las fechas con las figuras  representan los posibles días en los que se pueden realizar las inspecciones obligatorias y los meses que están enmarcados en la figura  indican que las inspecciones obligatorias pueden planificarse en cualquier día hábil del mes en cuestión.

Figura 25. Ejemplo de calendarización de visitas e inspecciones

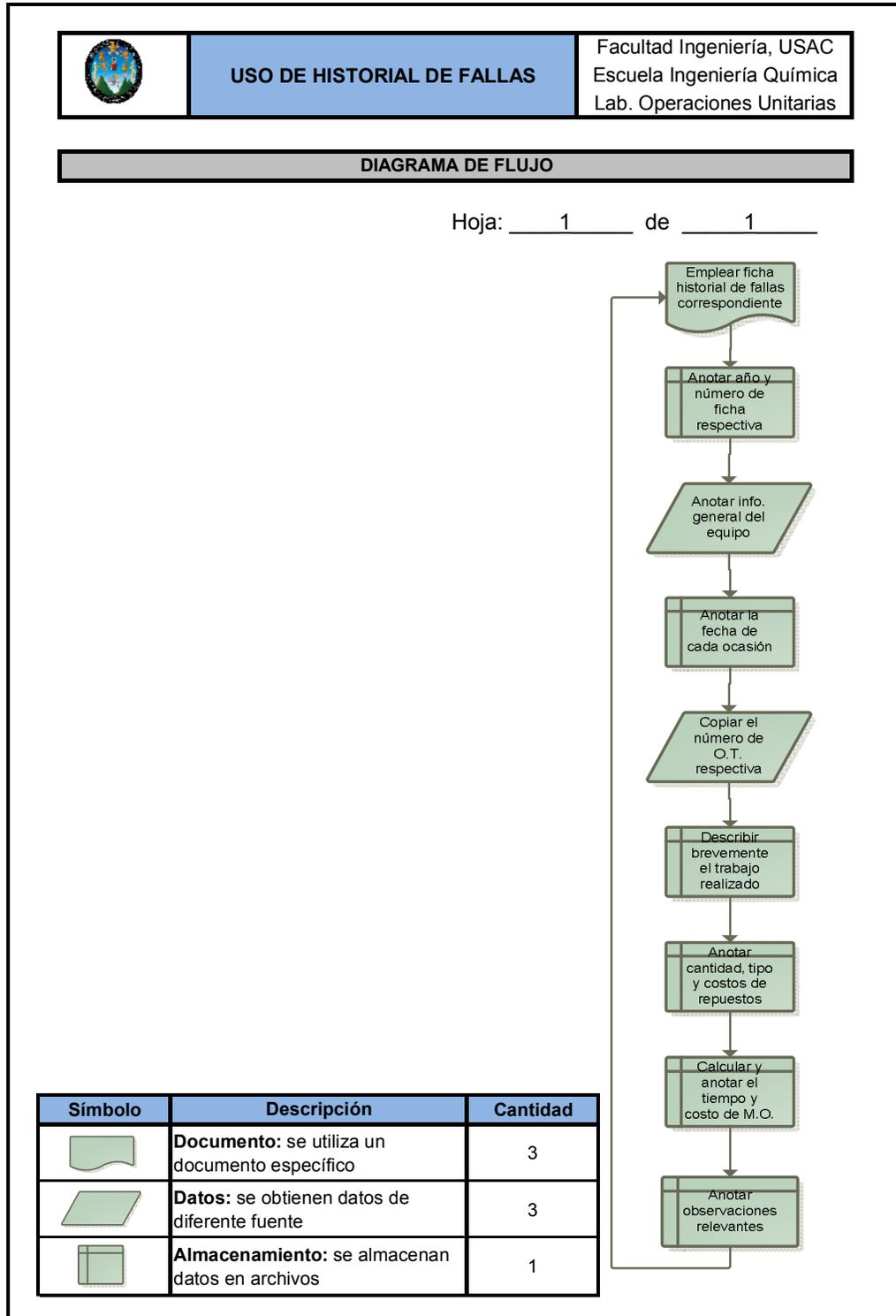


Fuente: propia

3.2.4.2. Uso de historial de fallas

Para comprender de manera rápida y sencilla el uso del formato del historial de fallas, se muestra a continuación un diagrama de flujo en el cual se define el proceso de manipulación de dicho documento. Figura 26, página 109.

Figura 26. Flujograma sobre el uso del modelo de historial de fallas

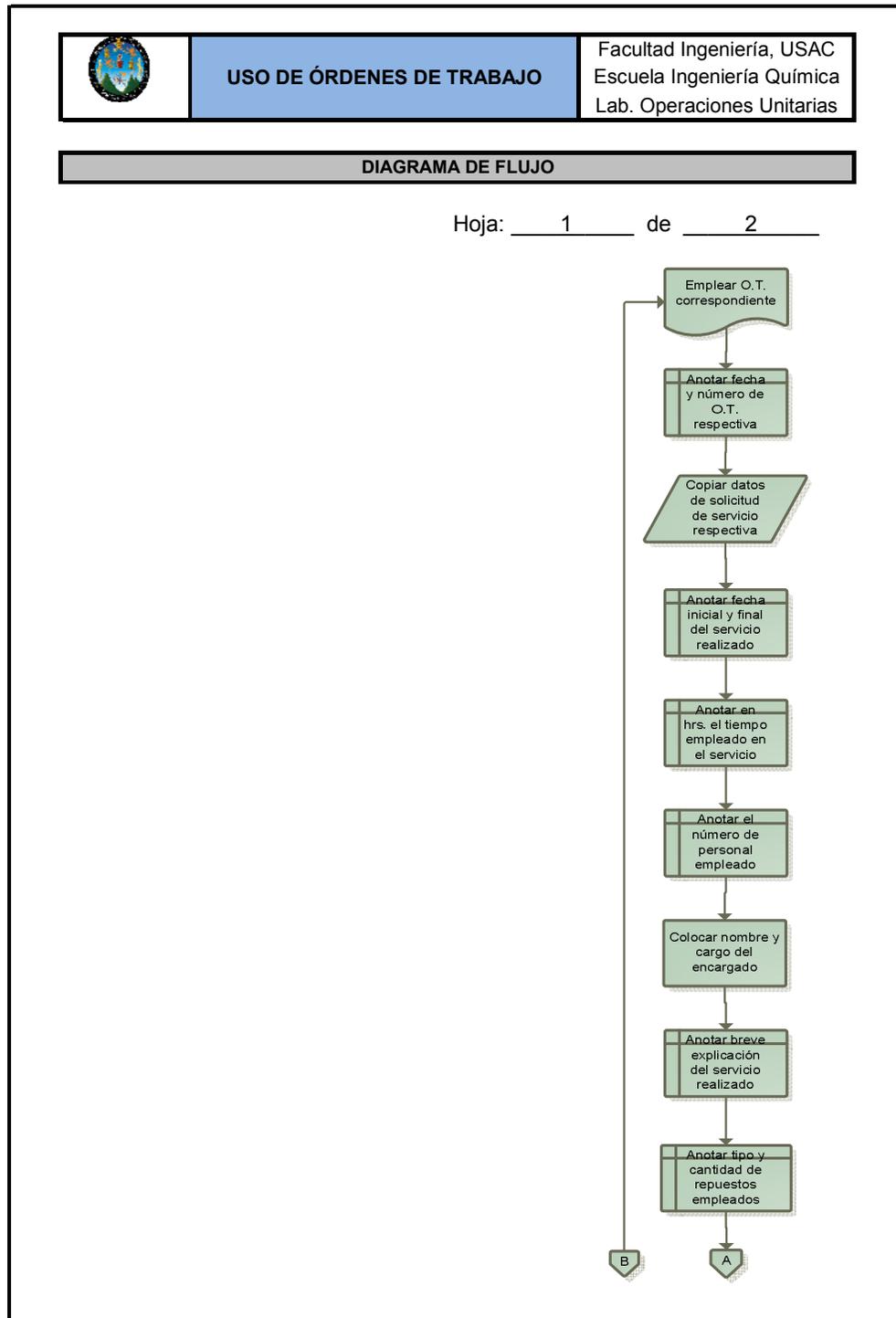


Fuente: propia

3.2.4.3. Uso de órdenes de trabajo planificadas y no planificadas

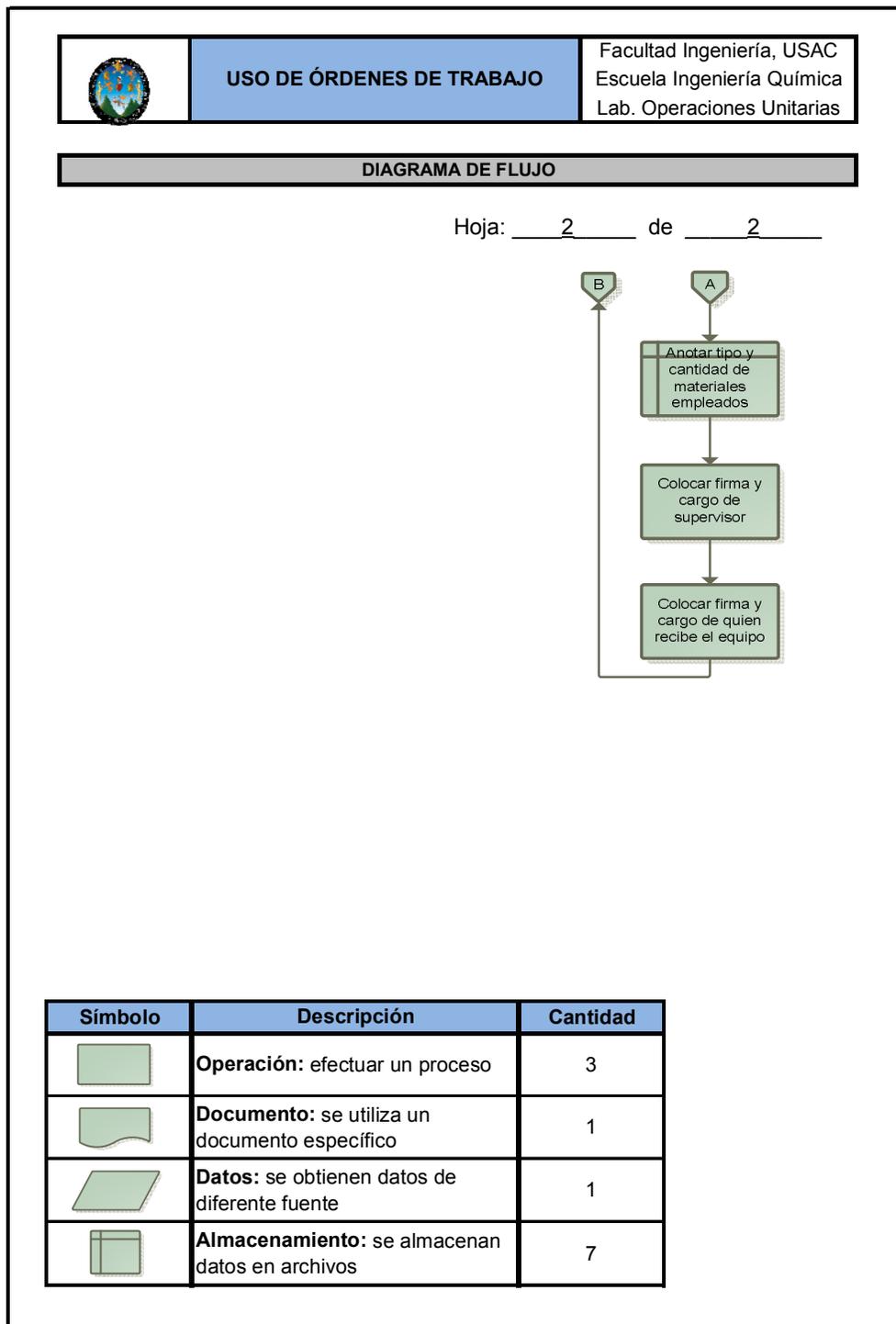
El diagrama de flujo siguiente, figura 27 (p. 111) y figura 28 (p. 112) indica la manera en que se deben emplear correctamente las órdenes de trabajo.

Figura 27. Flujograma sobre el uso del modelo de órdenes de trabajo, 1 de 2



Fuente: propia

Figura 28. Flujograma sobre el uso del modelo de órdenes de trabajo, 2 de 2



Fuente: propia

Cabe recordar que la diferenciación entre las OT Planificadas y las OT No planificadas radica en la información colocada en la Solicitud servicio de mantenimiento (figura 14, página 72) dentro del campo denominado Carácter.

Figura 29. Identificación del campo Carácter dentro de la solicitud de servicio de mantenimiento propuesta

	SOLICITUD SERVICIO DE MANTENIMIENTO		USAC, Facultad Ingeniería Escuela Ingeniería Química Lab. Operaciones Unitarias
	No. control: _____		
Carácter	No planificado	Urgente	
		Normal	
	Planificado		
Tipo mantenimiento	Correctivo		
	Preventivo		
	Predictivo		
Descripción de servicio solicitado		Observaciones	

Fuente: propia

Dicha información se reafirmar en la OT (figura 15, página 74) en la parte de Datos de solicitud de servicio de mantenimiento.

Figura 30. Identificación del campo Carácter dentro del modelo de orden de trabajo propuesto

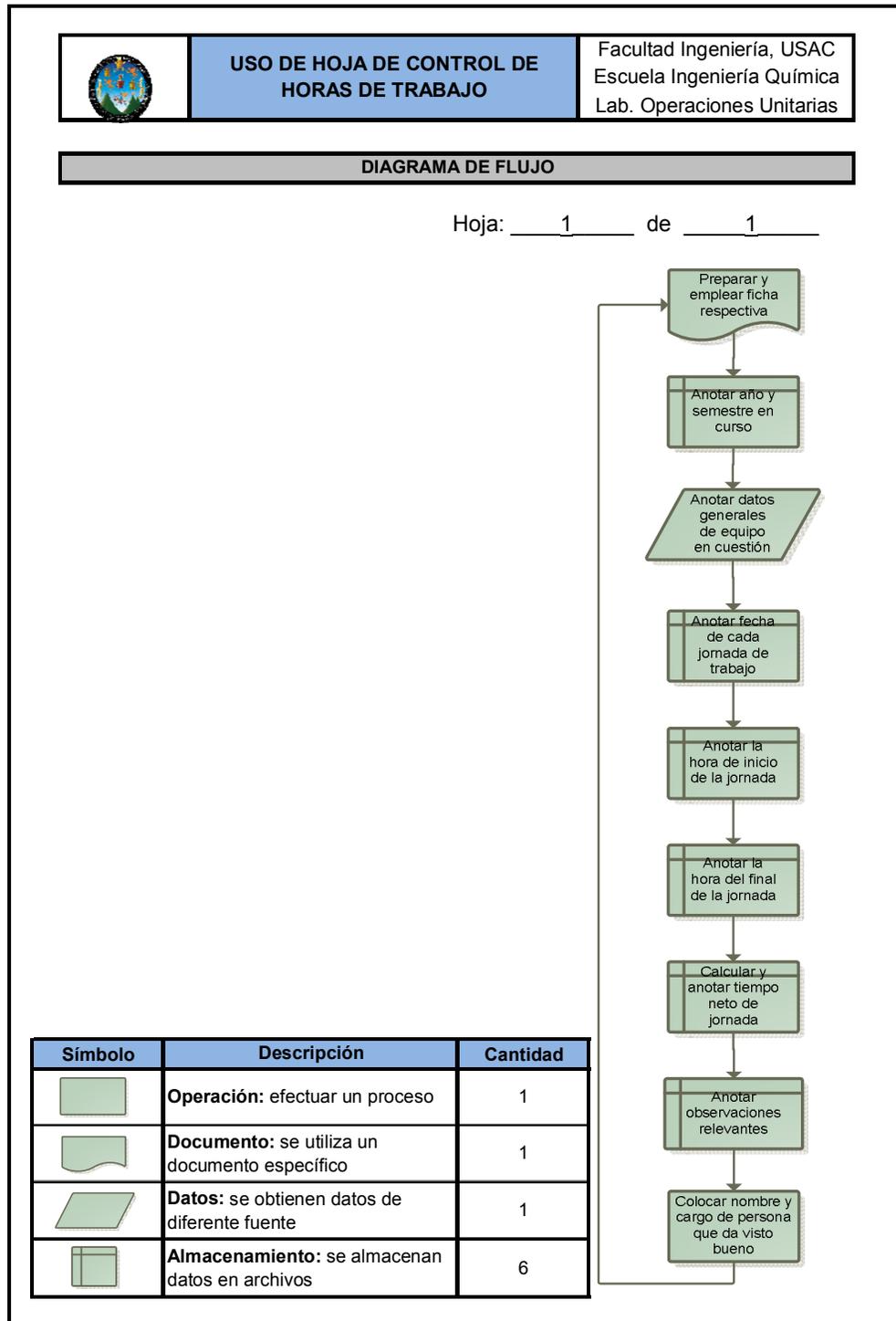
	ORDEN DE TRABAJO		Facultad Ingeniería, USAC Escuela Ingeniería Química Lab. Operaciones Unitarias
	Fecha: _____	No. control: _____	
Datos de solicitud de servicio de mantenimiento			
No. control: _____	Carácter: _____		
Tipo de mantto.: _____	Equipo: _____		
No. inventario: _____	Nivel de criticidad: _____		
Nombre y cargo de solicitante: _____			
Servicio solicitado: _____			

Fuente: propia

3.2.4.4. Uso de hojas de control de horas de trabajo del equipo

La manera correcta en que debe emplearse el formato de las hojas de control de horas de trabajo de los equipos se describe a continuación por medio del diagrama de flujo de la figura 31, página 115.

Figura 31. Flujograma sobre el uso del formato de control de horas de trabajo de equipos



Fuente: propia

3.3. Desarrollo del programa de mantenimiento predictivo

3.3.1. Establecimiento de periodicidad del mantenimiento

La periodicidad con la cual se procede a ejecutar las órdenes de trabajo de mantenimiento predictivo está basada en tres factores:

- a. Factor de costo (C): es el cociente entre el costo de una inspección predictiva y el costo en que se incurre por no detectar la falla (ecuación 16). Normalmente este último se refiere al tiempo empleado para conseguir el repuesto descompuesto, multiplicado por la cantidad de dinero que se pierde por unidad de tiempo de parada del equipo. El factor queda adimensional.

$$C = \frac{\text{Costo de inspección predictiva}}{\text{Costo incurrido por no detectar la falla}} \quad (\text{Ecuación 16})$$

- b. Factor de falla (F): se define por el cociente entre la cantidad de fallas que pueden llegar a detectarse mediante una inspección predictiva y el número total de fallas producidas en el equipo en el transcurso de un año (ecuación 17). El factor queda con dimensionales de años por inspección.

$$F = \frac{\text{No. fallas detectadas con inspección predictiva}}{\text{No. fallas totales detectadas en el equipo}} \quad (\text{Ecuación 17})$$

- c. Factor de ajuste (A): el factor de ajuste se basa en la probabilidad de ocurrencia de más de cero fallas por año, para lo cual se emplea la ecuación 18, página 117. λ representa el número total de fallas detectadas en un año para el equipo en cuestión.

$$A = -\ln(1 - e^{-\lambda}) \quad (\text{Ecuación 18})$$

Este método se desempeña de mejor manera si el valor de λ es menor o igual a uno ya que de lo contrario el costo del total de inspecciones por año superaría el costo de no detección de la falla.

Los tres factores anteriores se relacionan matemáticamente de la manera mostrada en la ecuación 19. El resultado de esta fórmula tendrá dimensionales de años por inspección.

$$P = (C)(F)(A) \quad (\text{Ecuación 19})$$

Debido a que la información histórica necesaria para poder desarrollar este método no está disponible actualmente en el Laboratorio de Operaciones Unitarias, entonces, se procede a mostrar un ejemplo en el que se supone un sistema motor-bomba. Se eligió este sistema ya que dentro del laboratorio es muy común.

Ejemplo: si se tiene un sistema motor-bomba y se asume lo siguiente: que el equipo falla 1 vez cada 3 años, que el costo de análisis de vibraciones ronda los US\$ 20 y que el costo de no detectar la falla es aproximadamente de US\$ 20,000.

Además, también se asume que mediante la ayuda del uso del diagrama causa-efecto, se pueden llegar a identificar unas 20 fallas a través de las inspecciones predictivas de vibración.

Con toda la información anterior, se procede a sustituir valores dentro de las ecuaciones 16 (p. 116), 17 (p. 116), 18 y 19.

$$C = \frac{\text{US\$ } 20}{\text{US\$ } 20,000} = 0.0010$$

$$F = \frac{20 \text{ fallas/inspec.}}{0.333 \text{ fallas/año}} = 60.0060 \text{ años/inspección}$$

$$A = -\ln [1 - e^{(-0.333)}] = 1.2691$$

$$P = (0.0010)(60.0060)(1.2691) = 0.0762 \text{ años/inspección}$$

Para facilitar la interpretación de los datos obtenidos, se debe considerar el inverso del valor P, y de esta manera se pueda conocer el número de inspecciones por año. El cual se denomina frecuencia de inspección (fi).

$$fi = \frac{1}{0.0762} = 13.1311 \text{ inspecciones/año}$$

Como último paso se verifica que el costo del número de inspecciones por año no supere el costo de la no detección de falla, ya que de ser así no representaría una solución rentable económicamente.

$$\text{Costo de inspecciones por año} = (13)(\text{US\$ } 20) = \text{US\$ } 260$$

$$\text{Costo no detección de falla} = \text{US\$ } 20,000$$

3.3.2. Identificación de pruebas predictivas comunes para cada equipo

Antes de identificar las pruebas o inspecciones predictivas por equipo se debe tener en mente que por lo general los costos de este tipo de servicios de mantenimiento predictivo son muy elevados y que normalmente éstos están establecidos en moneda estadounidense (dólares).

También debe ponerse bajo consideración que los fondos monetarios de los que normalmente podrían llegar a adjudicarse al Laboratorio de Operaciones Unitarias, por concepto de mantenimiento, no representan los mismos fondos de una empresa que vive de la producción que generan sus equipos, posiblemente por concepto de gastos en otros rubros dentro de la universidad, y que para poder disponer de recursos monetarios se tiene que pasar antes por una serie de trámites burocráticos.

En consecuencia a lo mencionado anteriormente, se propone la reducción del número de equipos del laboratorio que deben ser beneficiados con los servicios de mantenimiento predictivo. Este grupo reducido de equipos del Laboratorio de Operaciones Unitarias debe estar conformado únicamente por aquellos equipos que tras someterse al análisis de criticidad (sección 3.2.1.3, páginas de la 82 a la 89) se clasificaron en el nivel alto (tabla XI, página 89). Y que dado los resultados, corresponde a la caldera pirotubular.

Dicha caldera tiene la particularidad de contar con muchos sistemas auxiliares de distintos tipos (mecánicos, hidráulicos, neumáticos, eléctricos), los cuales magnifican el margen del número de pruebas predictivas aplicables a este, y que se especifican en la tabla XVII, página 120.

PRUEBAS PREDICTIVAS PARA CALDERA PIRO TUBULAR			
Prueba	Punto de aplicación	Descripción	Fallas detectadas
Inspecciones perceptivas y lectura de variables	Toda parte visible y de acceso inmediato y cualquier parte con indicador de variables.	Las inspecciones perceptivas se realizan a través de los sentidos considerando limitantes de seguridad. Las lecturas deben realizarse diariamente para obtener una base de datos.	Fugas de líquidos y gases, vibraciones anormales, aumentos de temperatura radicales, ruidos anormales, etc.
Inspecciones boroscópicas	Cualquier parte bajo condiciones ambientales normales, inaccesible para el ojo humano.	Inspección realizada con equipo óptico llamado boroscopio o endoscopio, de forma de varilla flexible que posee internamente numerosos lentes de alta definición y con luz incorporada.	Fugas en haces tubulares, fallas en lugar con dificultad de acceso o grandes desmontajes, verificación de estado de piezas.
Análisis de vibraciones	Equipos rotativos como motores y turbinas, partes con cojinetes, chumaceras, en cimentaciones o puntos de unión, etc.	Detección de fallos principalmente en equipos rotativos a través del estudio de la amplitud de la vibración o por medio del análisis del espectro de vibración correspondiente a los equipos evaluados.	Desequilibrios, ejes curvados, problemas electromagnéticos, problemas de sujeción, holguras excesivas, mal estado de cojinetes.
Análisis de aceites	Equipos rotativos ligados a lubricación periódica tal como motores, cojinetes, turbinas, rodamientos, chumaceras, entre otros.	Suministra información para diagnosticar el desgaste de equipos mediante el grado de contaminación del aceite debido a la presencia de partículas extrañas, y del estado del aceite mediante la degradación que ha sufrido, o sea, pérdida de propiedades físicas y químicas.	Desgaste interno de equipos, mal estado de lubricantes por pérdidas de propiedades físicas y químicas o pérdida de aditivos.
Termografía infrarroja	Tuberías de distribución de vapor, motores, turbinas, área de circuitos eléctricos y electrónicos, cámara de combustión, etc.	Técnica de producir una imagen visible a partir de radiación infrarroja invisible (para el ojo humano) emitida por objetos de acuerdo a su temperatura superficial, para esto se utiliza la cámara termográfica.	Fugas de tuberías, degradación de materiales aislantes, fallos electromagnéticos, mal funcionamiento de equipos rotativos, etc.
Inspección con ultrasonido	Motores, rodamientos, tuberías de distribución de aire comprimido, trampas de vapor, dispositivos eléctricos, entre otros.	Método que utiliza la generación, propagación y detección de ondas elásticas (sonido) a través de los materiales. Contiene un elemento piezo-eléctrico que convierte pulsos eléctricos en vibraciones, las cuales generan sonidos con rango de los megahertz (inaudible al oído humano).	Detección de grietas, detección de fugas, verificación de purgadores de vapor, inspección de rodamientos, y otros similares.

Tabla XVII. Pruebas predictivas para una caldera piro tubular

3.3.3. Estimación de oferentes de pruebas predictivas

Con información de la página web www.paginasamarillas.com, se presentan dos empresas con sede en la ciudad capital, que ofrecen al mercado industrial guatemalteco, servicios de mantenimiento predictivo.

En primer lugar se menciona a DIATEC S.A., ubicada en la 9 Av. 15-28 Zona 10, Edificio Villalar, oficina 2, teléfono (502) 23673977.

Figura 32. Logotipo de empresa de servicios de mantenimiento predictivo, DIATEC S.A.



Fuente: www.paginasamarillas.com, octubre 2010

Los servicios de mantenimiento predictivo que ofrece DIATEC S.A., son los siguientes:

- Termografía infrarroja
- Análisis de calidad de energía
- Alineación y balanceo dinámico
- Análisis de aceites dieléctricos
- Análisis de calidad de vibraciones

Además de los servicios anteriores, dicha empresa también se dedica a la venta de equipos empleados en los servicios de mantenimiento predictivo, tal es el caso de aparatos para análisis ultrasónicos (figura 33, p. 122) y de cámaras infrarrojas para análisis termográficos infrarrojos (figura 34, p. 122).

Figura 33. Aparatos para realizar análisis ultrasónicos



Fuente: www.diatec-ca.com, octubre 2010

Figura 34. Cámaras infrarrojas para realizar termografías



Fuente: www.diatec-ca.com, octubre 2010

La segunda empresa es, Servicios Industriales Especializados, SIE LTDA, con sede en la 10 Calle 18-38, Zona 11, Colonia Miraflores, teléfono (502) 24743680.

Figura 35. Logotipo de empresa de servicios de mantenimiento predictivo, SIE LTDA



Fuente: www.paginasamarillas.com, octubre 2010

Esta empresa ofrece servicios de ensayos no destructivos (END), los cuales son métodos que pueden considerarse dentro del campo del mantenimiento predictivo ya que son métodos y técnicas que se desarrollan para diagnosticar el estado de equipos sin la necesidad de desmontar grandes partes de éste o incluso, parar el equipo.

Los END en que se basa el servicio de SIE LTDA son los siguientes:

- Ensayo visual (VT)
- Ensayo por líquidos penetrantes (PT)
- Ensayo por partículas magnéticas (MT)
- Ensayo por ultrasonido industrial (UT)
- Ensayo por radiografía industrial (RT)

3.3.4. Estimación aproximada de costos de pruebas predictivas

Los costos manejados dentro del mercado de servicios de mantenimiento predictivo, alrededor de los métodos más sobresalientes de esta rama, tal como las termografías infrarrojas, análisis de vibraciones y ultrasonidos industriales, no poseen una cuota fija ya que dichos servicios varían sus costos dependiendo, en primer lugar, de lo que se quiera analizar. Esto se debe a que no es lo mismo analizar completamente una caldera, que analizar un tablero eléctrico.

En segundo lugar, los costos de las pruebas predictivas varían de acuerdo al nivel de sofisticación de los equipos con los que se realizan dichas pruebas. En otras palabras, mientras más sofisticados (mayor rango de análisis, mayores beneficios aportados, resultados de análisis mucho más certeros, etc.) sean los equipos y más tecnificado sea el personal de las empresas que ofrecen los servicios predictivos, mayores serán los costos de las pruebas.

Luego de consultar las fuentes: presentación de TA CONSULT, S.A. de C.V. y <http://confiabilidad.net>, se puede mencionar que los costos de mantenimiento predictivo, comunes, son los siguientes.

- Termografía infrarroja: desde US\$ 250.00 hasta US\$ 1,600.00
- Análisis de vibraciones: desde US\$ 20.00 hasta US\$ 300.00
- Ultrasonido industrial: aproximadamente US\$ 450.00

3.3.5. Elaboración de formatos de mantenimiento predictivo

3.3.5.1. Solicitud de pruebas predictivas

Para llevar a cabo las solicitudes de servicios de mantenimiento predictivo se debe hacer uso del mismo formato propuesto en la sección 3.1.1, figura 14, página 72.

3.3.5.2. Órdenes de trabajo

La OT principal, del mantenimiento predictivo, radica en la utilización del modelo descrito en la sección 3.1.2, figura 15, página 74. Dicha OT debe utilizarse primordialmente para girar los servicios de mantenimiento predictivo sofisticados (análisis de vibraciones, termografías infrarrojas, ultrasonidos industriales, END, entre otros).

Por otra parte, para aquellas actividades de mantenimiento predictivo llevadas a cabo por personal de mantenimiento interno del Laboratorio de Operaciones Unitarias y que constan de simples y sencillas inspecciones de equipos, a través de los sentidos, se deberá emplear el formato llamado Evaluación Operacional que se muestra en la sección 2.2.1, figura 10, página 54.

Las evaluaciones operacionales deben realizarse en cada jornada de trabajo que se tenga dentro del Laboratorio de Operaciones Unitarias.

Dichas evaluaciones deben llevarse a cabo por personal de mantenimiento, pero en dado caso no fuera así, esta responsabilidad recaería en los grupos de estudiantes que utilizan los equipos del laboratorio, siempre y cuando estén bajo la supervisión de catedráticos o auxiliares.

Con el tipo de información que puede llegar a recabarse en las evaluaciones operacionales se puede obtener una base de datos para el cálculo de algún dato requerido en informes de mantenimiento o para poder crear gráficos de control en los cuales se pueda visualizar el comportamiento de los equipos a lo largo de cierto periodo de análisis. En la sección 1.2.3 se puede observar un ejemplo de gráfico de control (figura 1, página 25).

4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

4.1. Cálculo de recursos mínimos necesarios para la implementación

4.1.1. Cálculo de personal mínimo necesario

El cálculo de personal de mantenimiento debe cubrir con un solo grupo de personas, todas las labores ligadas al mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo. Dicho cálculo de personas debe tomar como base las labores de mantenimiento preventivo de cada uno de los equipos del Laboratorio de Operaciones Unitarias, esto para evitar la disposición de personal con mucho tiempo muerto (tiempo de inactividad), que solamente produciría un incremento innecesario en el costo total de mantenimiento.

Lo anterior aduce que si se considerara por separado al personal de mantenimiento correctivo (por ejemplo), éste estaría la mayor parte de su tiempo sin realizar nada, ya que sus funciones sólo se basan en responder al fallo de equipos. Cosa que puede ocurrir después de meses o incluso años, dependiendo de la efectividad con la que se lleven a cabo las labores preventivas y predictivas en los equipos.

Para atender los END, análisis de vibraciones, termografías infrarrojas y demás pruebas sofisticadas del mantenimiento predictivo, no se propone cálculo alguno de personal debido a que el empleado en dichas pruebas proviene del *outsourcing* (contratación de personal externo) y por ende, la cantidad de personas empleadas queda sujeta a disposición de ésta.

La cantidad mínima de personal de mantenimiento (CMPM) que se propone para poder desarrollar las labores de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo se puede calcular a través de la ecuación 20.

$$\text{CMPM} = \frac{\sum t_s \text{ act. prev. todos los equipos}}{T_{ea} \text{ de trabajo unitario}} \quad (\text{Ecuación 20})$$

Dónde:

- $\sum t_s$ act. prev. todos los equipos: comprende la sumatoria de los tiempos estándar (t_s) de cada una de las actividades de mantenimiento preventivo planificadas para cada equipo dentro del periodo de un año.
- T_{ea} de trabajo unitario: tiempo efectivo anual de trabajo del que dispone normalmente un trabajador.

El primer paso para el cálculo del CMPM consiste en hallar el tiempo estándar (t_s) de cada una de las actividades de mantenimiento preventivo respectivas a cada uno de los equipos que se tienen.

Para lo anterior se recurre a la información recolectada, a lo largo de un año de labores, por las OT de cada equipo en la parte de datos de servicio aportado, figura 36.

Figura 36. Identificación del campo tiempo empleado dentro del modelo de orden de trabajo propuesto

Datos de servicio aportado	
Fecha inicio: _____	Fecha terminado: _____
Tiempo empleado (Hrs.): _____	Cantidad personal empleado: _____
Nombre y cargo responsable: _____	

Fuente: propia

De la recolección de dicha información se obtendrán valores con igual número que la periodicidad de planificación de las labores preventivas. Por ejemplo: si la periodicidad de una actividad preventiva para un equipo del Laboratorio de Operaciones Unitarias, es mensual, en consecuencia tras la recolección anual de datos se deberá contar con doce valores, una por cada mes.

Los valores que se recolectan representan el tiempo empleado en realizar dicha actividad de mantenimiento preventivo. Y cada uno de éstos se les denomina tiempo registrado (t_r).

El segundo paso es calcular el tiempo registrado promedio (t_{rp}) de cada actividad de mantenimiento preventivo, en base a los valores t_r que se tengan. El t_{rp} se obtiene al emplear la ecuación de la media aritmética mostrada en la sección 2.4.2, ecuación 13, página 59.

Lo último que se debe hacer para calcular el t_s de cada actividad de mantenimiento preventiva, de cada equipo, es utilizar la ecuación 21.

$$T_s = t_{rp}(\% \text{ concesiones}) \quad (\text{Ecuación 21})$$

Dónde:

- % concesiones: porcentaje ligado al t_{rp} con el fin de tratar de estandarizarlo, este porcentaje se asignará dependiendo del grado de variabilidad de los valores t_r . Este puede ir desde 5% para casos de baja variabilidad, hasta 15% para casos de alta variabilidad.

Al término de calcular todos los t_s correspondientes a cada una de las actividades de mantenimiento preventivo, de cada uno de los equipos en cuestión, se procede a sumar todos ellos. El resultado de esta suma representa el numerador de la ecuación 20 (pág. 128)

Para obtener el denominador de la ecuación 20, T_{ea} de trabajo unitario, se empieza por establecer el tipo de jornada de trabajo del personal de mantenimiento.

Las distintas jornadas de trabajo manejadas en Guatemala se exponen en la tabla XVIII.

Tabla XVIII. Jornadas de trabajo empleadas en Guatemala

Jornada	Hrs./semana	Concesiones	Hrs./semana efectivas (hrs./sem. - concesiones)	Hrs./año efectivas
Diurna	44	1.5 hr/día	36.5	1898
Diurna especial	44	1.5 hr/día	36.5	1898
Mixta	42	0.5 hr/día	39	2028
Nocturna	36	ninguna	36	1872

Fuente: propia

Las concesiones de las que se hace referencia en la tabla XVIII corresponden al tiempo asignado al almuerzo y refacción, los cuales constan de una hora y media hora respectivamente.

Para obtener el valor del T_{ea} de trabajo unitario solamente se selecciona un valor de la columna hrs./año efectivas, tabla XVIII, de acuerdo a la jornada de trabajo del personal de mantenimiento. Una vez obtenido este dicho valor, se procede a calcular la CPM.

Considerando que actualmente en el Laboratorio de Operaciones Unitarias no se dispone de la información histórica suficiente, de por lo menos un año de labores, entonces para calcular los t_s de cada una de las actividades de mantenimiento preventivas por equipo, se procede a desarrollar un ejemplo del cálculo de CPM, en donde se supondrán los datos necesarios.

Ejemplo: en este ejemplo se utilizarán únicamente las actividades de mantenimiento preventivas incluidas en las figuras 20 (p. 93), 21 (p. 94), 22 (p. 95) y 25 (p. 107), las cuales corresponden en su mayoría a un solo equipo, la caldera pirotubular. En cuanto a los valores t_r , se asumirán valores ficticios.

Las tablas XIX, XX (p. 132) y XXI (p. 133) resumen la mayoría del procedimiento que debe realizarse para el cálculo de CPM.

Tabla XIX. Cálculo de t_{rp} y t_s para visitas e inspecciones de mantenimiento preventivo de una caldera pirotubular

VISITAS E INSPECCIONES										
Registro mensual (hrs.)										
	tr 1	tr 2	tr 3	tr 4	tr 5	tr 6	trp	% Concesión	ts	
	tr 7	tr 8	tr 9	tr 10	tr 11	tr 12				
Visitas	1	0.95	0.9	0.9	1	0.95	0.94	5	0.99	
	0.95	1	0.9	0.95	0.9	0.95				
									Σ	0.99
Registro ocasional (hrs.)										
	tr 1	tr 2	tr 3	tr 4	tr 5	tr 6	trp	% Concesión	ts	
	tr 7	tr 8	tr 9	tr 10	tr 11	tr 12				
Inspecciones				4.2		4	3.72	5	3.91	
			3.5			3.2				
									Σ	3.91

Fuente: propia

Tabla XX. Cálculo de t_{rp} y t_s para actividades semestrales de mantenimiento preventivo de una caldera pirotubular

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO - PERIODICIDAD SEMESTRAL					
	Registro semestral (hrs.)		trp	% Concesión	ts
	tr 1	tr 2			
Inspeccionar las condiciones ambientales en las que se encuentra el equipo	0.75	0.7	0.72	5	0.76
Efectuar limpieza integral externa	3	2.5	2.75	5	2.89
1. Revisar y limpiar el cuerpo de la caldera					
Sección de agua	6	7.5	6.75	5	7.09
Sección de fuego	8	8.2	8.1	5	8.51
Empaquetaduras	3	2.8	2.9	5	3.05
Refractario	3.5	3.2	3.35	5	3.52
Aislamiento	2.2	2.5	2.35	5	2.47
Forro y pintura	2.5	3	2.75	5	2.89
Chimenea	4	4.2	4.1	5	4.31
Válvula de seguridad	2	3	2.5	5	2.63
Válvula de salida de vapor	2.5	2.5	2.5	5	2.63
2. Revisar y limpiar el quemador					
Boquillas	1	1.2	1.1	5	1.16
Electrodos	0.8	1	0.9	5	0.95
Cables	1	1.5	1.25	5	1.31
Difusor	0.6	0.6	0.6	5	0.63
Válvula solenoide	0.8	0.75	0.78	5	0.82
Motor ventilador	3	2.75	2.88	5	3.02
Empaquetaduras	1.2	1.2	1.2	5	1.26
3. Revisar y limpiar el sistema eléctrico					
Programador	1.5	2	1.75	5	1.84
Controladores de presión	1.75	2.2	3.95	5	4.15
Termostatos	1.2	1	1.1	5	1.16
Contactores y protecciones eléctricas	2	2.2	2.1	5	2.21
Conductores eléctricos	2	1.75	1.88	5	1.97
Dispositivos de modulación	1.5	1.2	1.35	5	1.42
Tablero eléctrico	1	1.1	1.05	5	1.10
4. Revisar y limpiar el sistema de agua					
Motor -bomba de agua	4	3.5	3.75	5	3.94
Control de bajo nivel de agua	1	1.2	1.1	5	1.16
Controles de mando eléctrico	1.5	1	1.25	5	1.31
Líneas de conducción	1.2	1.2	1.2	5	1.26
Accesorios (filtros y válvulas)	4	4.5	4.25	5	4.46
5. Revisar y limpiar el sistema de combustión					
Bomba de combustible	3.5	3.5	3.5	5	3.68
Motor de bomba de combustible	3	3.5	3.25	5	3.41
Calentador de combustible	1	1.2	1.1	5	1.16
Válvula reguladora de presión de combustible	1.2	1.1	1.15	5	1.21
Conjunto motor-compresor	3.5	4	3.75	5	3.94
Línea de conducción	2.5	3	2.75	5	2.89
Accesorios (filtros y válvulas)	4	4.5	4.25	5	4.46
6. Revisar y limpiar el tanque de combustible					
Lado interior del tanque	3.75	3.5	3.62	5	3.80
Visor de nivel	1	1.1	1.05	5	1.10
Válvulas	2	1.75	1.88	5	1.97
Termómetro	1.1	1	1.05	5	1.10
Línea de abastecimiento, drenaje y ventilación	3.5	3.75	3.62	5	3.80
7. Verificar el funcionamiento del equipo en conjunto con el operador	2	2.5	2.25	5	2.36
				Σ	110.70

Fuente: propia

Tabla XXI. Cálculo de t_{rp} y t_s para actividades mensuales de mantenimiento preventivo de una caldera piro tubular

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO - PERIODICIDAD MENSUAL										
	Registro mensual (hrs.)						trp	% Concesión	ts	
	tr 1	tr 2	tr 3	tr 4	tr 5	tr 6				
	tr 7	tr 8	tr 9	tr 10	tr 11	tr 12				
Inspeccionar las condiciones ambientales en las que se encuentra el equipo	0.6	0.6	0.65	0.6	0.65	0.65	0.65	5	0.6825	
	0.65	0.7	0.75	0.6	0.7	0.7				
Efectuar limpieza integral externa del equipo	2	1.9	2.2	2	2.1	2	2.07	5	2.1735	
	2.2	2.1	1.95	2	2.2	2.2				
Revisar y limpiar las boquillas del quemador	0.8	0.9	0.85	1	0.85	0.85	0.9	5	0.945	
	1	0.85	0.9	0.9	1	0.9				
Revisar y limpiar los electrodos	0.85	0.85	0.9	0.85	0.9	0.95	0.89	5	0.9345	
	0.8	1	0.9	0.85	1	0.8				
Revisar y limpiar las fotoceldas	1.2	0.85	0.9	1	0.85	1.2	0.95	5	0.9975	
	0.9	0.8	0.9	0.95	0.9	0.95				
Revisar y limpiar los cables del transformador	0.45	0.55	0.6	0.55	0.55	0.6	0.52	5	0.546	
	0.5	0.45	0.55	0.6	0.45	0.45				
Revisar y limpiar el difusor	0.5	0.4	0.45	0.45	0.5	0.45	0.45	5	0.4725	
	0.45	0.4	0.5	0.4	0.4	0.45				
Verificar estado de manómetros, termómetros y termostato	1	0.9	0.85	1.1	1	0.9	0.92	5	0.966	
	0.9	1	0.8	0.85	0.9	0.85				
Verificar estado de controles de presión	0.75	0.7	0.7	0.65	0.75	0.7	0.7	5	0.735	
	0.7	0.75	0.7	0.65	0.65	0.75				
Verificar estado de válvulas de seguridad	0.6	0.55	0.6	0.65	0.65	0.6	0.61	5	0.6405	
	0.65	0.6	0.6	0.55	0.65	0.6				
Verificar paro por falla de llama	0.65	0.6	0.7	0.65	0.6	0.6	0.65	5	0.6825	
	0.7	0.6	0.75	0.6	0.7	0.65				
Verificar el funcionamiento en conjunto con el operador del equipo	1.5	1	2	1.5	1	1	1.46	5	1.533	
	2	1.5	1.5	1.5	2	1				
	Σ									11.3085

Fuente: propia

Ahora que se tienen todos los valores de t_s , éstos se suman para poder disponer del numerador de la ecuación 20 (p. 128). El resultado se presenta a continuación:

$$\sum t_s \text{ act. prev. todos los equipos} = 126.91 \text{ hrs/año}$$

Después del cálculo anterior se procede a definir la jornada de trabajo del personal de mantenimiento. En este ejemplo se empleará la jornada diurna, con lo cual se consulta la tabla XVIII (p. 130) para obtener el dato siguiente:

$$T_{ea} \text{ de trabajo unitario} = 1898 \text{ hrs./año-hombre}$$

Cuando ya se tienen estos dos últimos datos se prosigue con el cálculo del CPM de la siguiente manera.

$$\text{CPM} = \frac{126.91 \text{ hrs./año}}{1898 \text{ hrs./año-hombre}} = 0.067 \text{ hombres}$$

Debe recordarse que el único fin de este ejemplo es demostrar el desarrollo del cálculo CPM, ya que la respuesta obtenida arriba no tiene lógica.

4.1.2. Cálculo de *stock* mínimo de repuestos e insumos

El cálculo del *stock* de repuestos e insumos mínimos, necesarios, para poder implementar el programa de mantenimiento se debe hacer inicialmente en base a las labores de mantenimiento preventivo correspondientes a los equipos con niveles de criticidad altos, los cuales se establecieron en la tabla XI, página 89.

Se propone hacer el cálculo de esta manera debido a que el programa de mantenimiento preventivo debe tener la mayor atención para evitar cualquier situación correctiva. De no ser así, el cálculo del *stock* podría incurrir en mayores gastos por el hecho de tomar en cuenta otros repuestos e insumos que posiblemente no se utilizarían.

En la sección 3.2.2.3, tablas XIII (p. 96) y XIV (p. 97), se describieron los repuestos e insumos mínimos necesarios para realizar las labores de mantenimiento preventivo de una caldera pirotubular, la cual a su vez representa el único equipo del Laboratorio de Operaciones Unitarias que posee un nivel de criticidad alto.

Luego de transcurrido un año como mínimo, se puede establecer el *stock* de acuerdo a la información mostrada en las OT e historial de fallas de los equipos con niveles de criticidad altos, la caldera pirotubular.

Además de los repuestos e insumos empleados directamente en los equipos, se deben considerar también los insumos requeridos para elaborar las OT, solicitudes de servicio de mantenimiento y demás documentos de control del programa de mantenimiento que necesitan ser impresos. Para ello se necesitarían insumos de oficina tales como papel y tinta para impresiones. Los gastos de estos insumos pueden reducirse si se dispone del servicio de imprenta de la Facultad de Ingeniería.

4.1.3. Costos aproximados de personal y *stock* de repuestos e insumos

Para el costo del *stock* de repuestos e insumos, se debe observar lo descrito en la sección 3.2.2.4, tablas XV y XVI (ambas p. 98).

Los costos del personal necesario para poder llevar a cabo la implementación del programa de mantenimiento se describe a continuación, tabla XXII. Dichos cálculos están elaborados acorde con el personal descrito en la sección 4.2.1, figura 37, página 138.

Tabla XXII. Costos anuales aproximados de personal de mantenimiento propuesto

Descripción	Sueldo anual	Bono 14	Aguinaldo	Totales parciales
Jefe de Mantenimiento (1)	Q.84,000.00	Q.7,000.00	Q.7,000.00	Q.98,000.00
Secretaria (1)	Q.30,000.00	Q.2,500.00	Q.2,500.00	Q.35,000.00
Asistente de jefatura (1)	Q.48,000.00	Q.4,000.00	Q.4,000.00	Q.56,000.00
Supervisor de área (1)	Q.42,000.00	Q.3,500.00	Q.3,500.00	Q.49,000.00
Técnicos de mantenimiento (4)	Q.100,800.00	Q.8,400.00	Q.8,400.00	Q.117,600.00
TOTAL				Q.355,600.00

Fuente: propia

Los costos de personal presentados en la tabla XXII pueden reducirse si se emplearan parte del personal actual del Laboratorio de Operaciones Unitarias o incluso, a otro tipo de personal perteneciente a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, para cubrir los puestos propuestos.

Lógicamente estas personas tendrían un pequeño incremento en su salario, debido a las nuevas funciones que se les atribuirían en relación al personal de mantenimiento propuesto.

4.1.4. Creación de un fondo monetario de respaldo

La creación de un fondo monetario de respaldo tiene como función cubrir parcial o completamente las necesidades urgentes de comprar algún repuesto o insumo no disponible dentro del *stock* de repuestos e insumos que se tenga en ese momento.

Las necesidades de compra urgente pueden surgir tras el acontecimiento de fallos inesperados en equipos de alta criticidad. Puesto que con este tipo de equipos no se puede disponer del tiempo regular para proceder a planificar el servicio de mantenimiento respectivo, ya que estos pueden afectar seriamente las labores del laboratorio.

El fondo monetario de respaldo consiste en la disposición física de dinero, también se le conoce con el nombre de caja chica. Este fondo debe crearse con por lo menos un 5% o 10% del presupuesto asignado al *stock* de repuestos e insumos o a través de una cantidad monetaria fija establecida según las capacidades que se tengan.

4.2. Organización administrativa del mantenimiento

4.2.1. Estructura del personal operativo y administrativo de mantenimiento

Para el buen desempeño del programa de mantenimiento se debe considerar la formación e implementación de un equipo de trabajo dedicado a la planificación, desarrollo, control y evaluación de dicho programa. Esto con el fin de poder obtener el mayor provecho de los equipos del Laboratorio de Operaciones Unitarias.

Este equipo de trabajo se puede estructurar de manera simple y sencilla tal y como se muestra en la siguiente figura.

Figura 37. Estructura organizacional de personal de mantenimiento propuesto



Fuente: propia

4.2.2. Descripción de funciones del personal operativo de mantenimiento

Básicamente el personal operativo de mantenimiento se identifica en la estructura organizacional, figura 37, como el personal técnico de mantenimiento.

El número de técnicos de mantenimiento propuesto en el organigrama de la figura 37, son cuatro, dicha cantidad corresponde a criterio personal. No se debe olvidar comparar la cantidad de técnicos mencionada antes, con el número de técnicos obtenido mediante el cálculo CPM expuesto en la sección 4.1.1, página 127.

Las principales funciones de este personal operativo radican en la materialización o desarrollo de todas las actividades de mantenimiento establecidas en el programa de mantenimiento (correctivo, preventivo y predictivo).

Algunas de las actividades de mantenimiento que deben realizar los técnicos de mantenimiento son: encargarse de las reparaciones de emergencia que puedan ocasionarse, llevar a cabo las visitas e inspecciones, realizar rutinas de mantenimiento preventivo de los equipos, llevar el control de los equipos a través de pruebas de funcionalidad y monitorear los valores de los distintos indicadores de variables que poseen los equipos (termómetros, manómetros, medidores de nivel, entre otros).

4.2.3. Descripción de funciones del personal administrativo de mantenimiento

El personal administrativo lo deben conformar: el jefe de mantenimiento, la secretaria de mantenimiento, el asistente de mantenimiento y el supervisor de área. Las funciones de este personal se describen a continuación.

- Jefe de mantenimiento: encargado de gestionar ante la Dirección del Laboratorio de Operaciones Unitarias, la compra de nuevos equipos; compra de repuestos; reparaciones necesarias; supervisión del mantenimiento realizado por personal interno o por empresa externa y además; es el responsable de la dirección y control del mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo del laboratorio.

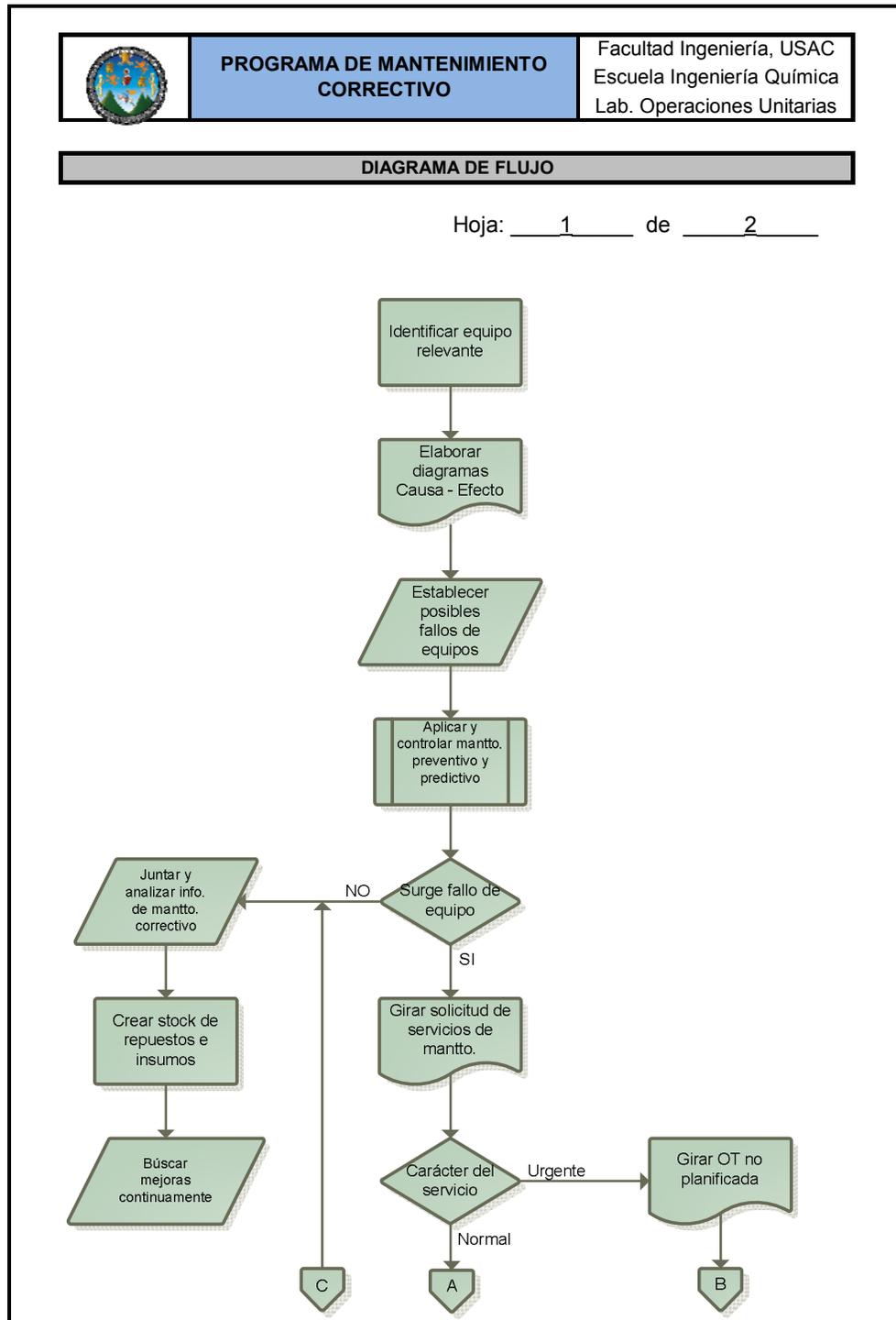
- Secretaria de mantenimiento: responsable de brindar apoyo en las actividades administrativas, redactar cartas, simplificar la información recibida y archivarla para proporcionarla cuando se necesite, contestar el teléfono, informar sobre las últimas noticias ocurridas dentro del laboratorio según sean de su incumbencia y demás funciones.
- Asistente de jefatura: encargado de la planificación de todas las actividades del programa de mantenimiento, estar pendiente de que se cumpla con lo planificado, llevar el control de los indicadores de mantenimiento, tomar decisiones con respecto a su cargo y responsabilidad asignadas en su momento, girar órdenes de trabajo y demás funciones.
- Supervisor de área: persona encargada de supervisar y coordinar las actividades de los técnicos de mantenimiento, informar a los técnicos acerca de sus responsabilidades, obligaciones y reglas de seguridad, capacitar técnicos, presentar informes de las actividades de mantenimiento realizadas, etc.

4.3. Definición de procedimientos de aplicación

4.3.1. Flujograma sobre procedimientos para el programa de mantenimiento correctivo

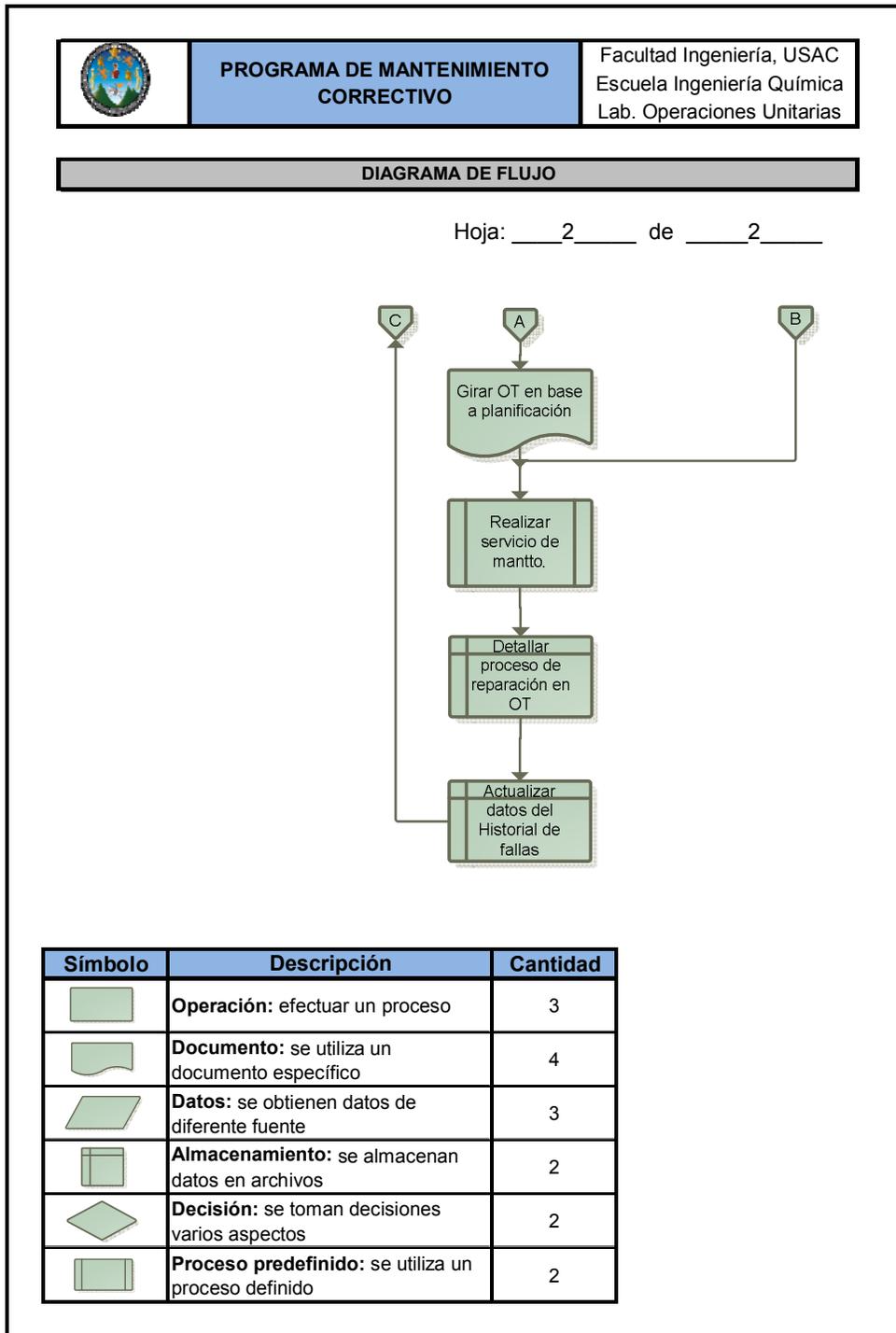
El flujograma de las figuras 38 (p. 141) y 39 (p. 142), muestra la secuencia del procedimiento propuesto para el desarrollo del mantenimiento correctivo. Esto se hace con el fin de tener un documento que sirva de guía durante el proceso de implementación de dicho tipo de mantenimiento.

Figura 38. Flujograma sobre procedimientos para el mantenimiento correctivo, 1 de 2



Fuente: propia

Figura 39. Flujograma sobre procedimientos para el mantenimiento correctivo, 2 de 2

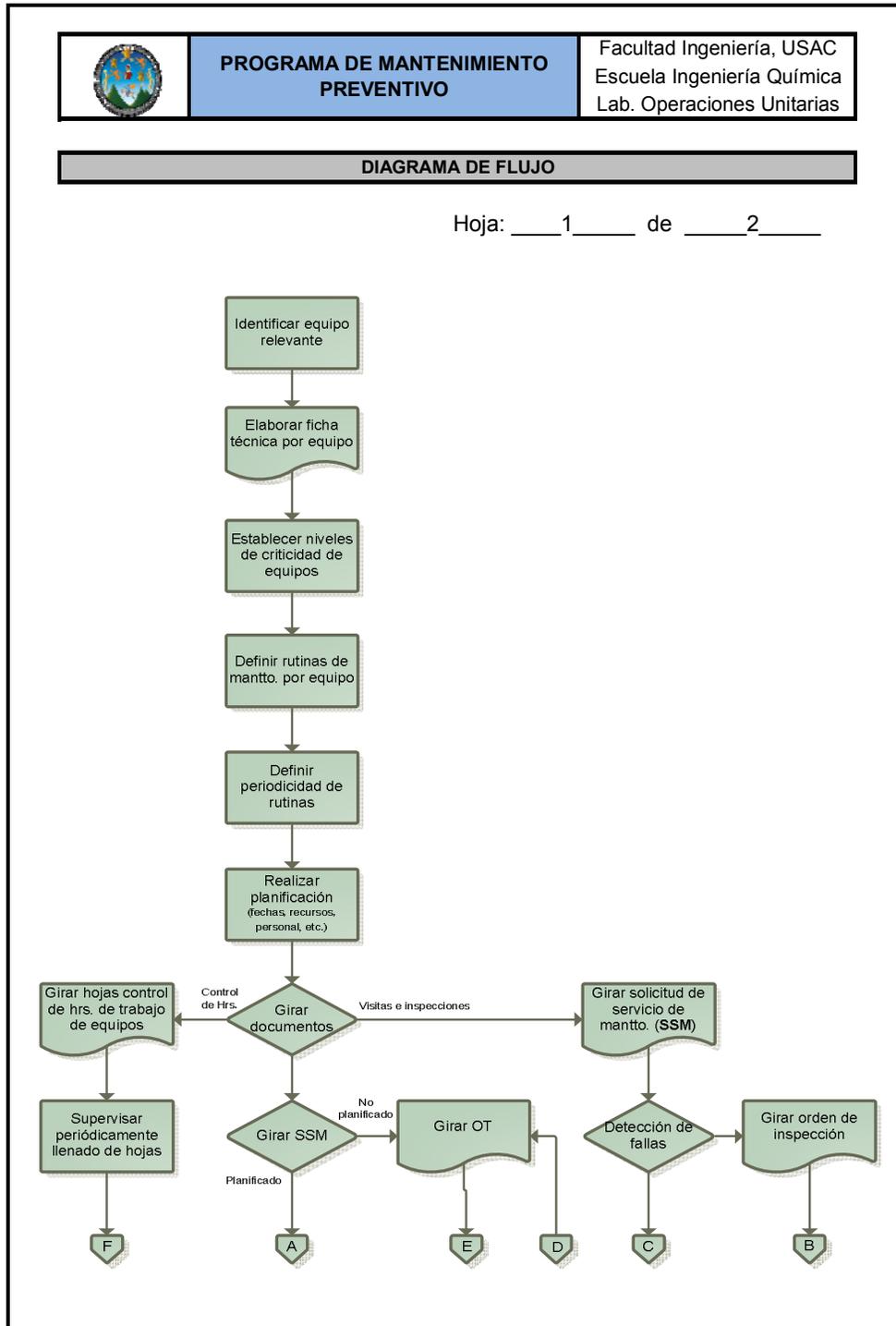


Fuente: propia

4.3.2. Flujograma sobre procedimientos para el programa de mantenimiento preventivo

El flujograma siguiente, figuras 40 (p. 144) y 41 (p. 145), indica la forma en que debe llevarse el desarrollo del mantenimiento preventivo. De igual manera que el flujograma del mantenimiento correctivo, esto se realiza con el propósito de disponer de un documento que sirva de guía durante el proceso de implementación de dicho tipo de mantenimiento.

Figura 40. Flujograma sobre procedimientos para el mantenimiento preventivo, 1 de 2

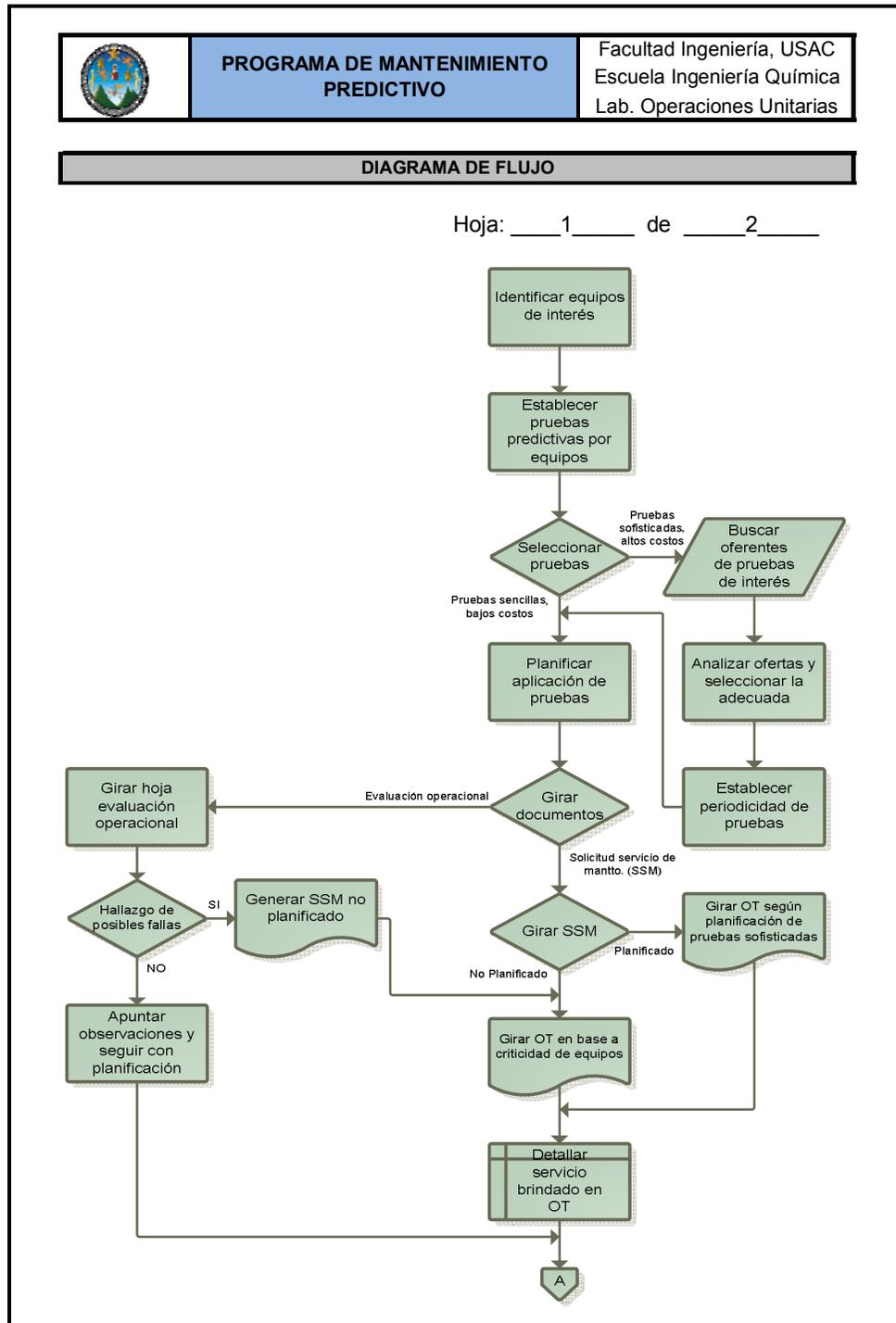


Fuente: propia

4.3.3. Flujograma sobre procedimientos para el programa de mantenimiento predictivo

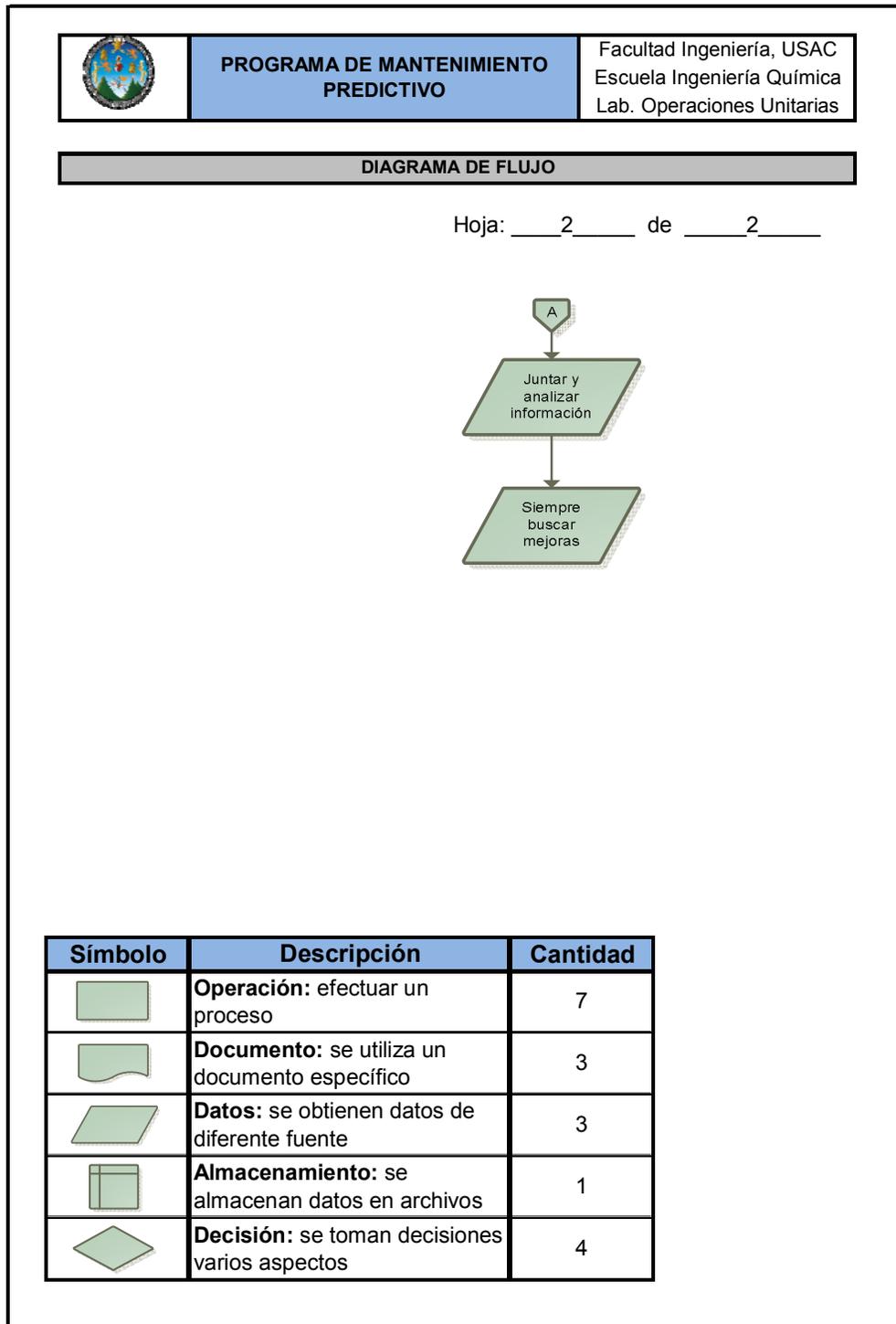
El flujograma mostrado en las figuras 42 (p. 147) y 43 (p. 148) tiene los mismos fines que los flujogramas anteriores, la única diferencia radica en que corresponde al mantenimiento predictivo.

Figura 42. Flujograma sobre procedimientos para el mantenimiento predictivo, 1 de 2



Fuente: propia

Figura 43. Flujograma sobre procedimientos para el mantenimiento predictivo, 2 de 2



Fuente: propia

4.4. Divulgación de procedimientos de los programas de mantenimiento

4.4.1. Charla informativa a estudiantes que utilizan el laboratorio

La implementación del programa de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo dentro del Laboratorio de Operaciones Unitarias debe tomar en cuenta a todas aquellas personas que tengan relación directa o indirecta con el equipo, ya que del buen trabajo individual y grupal que estas personas realicen, dependerá el grado de aprovechamiento de los equipos y la reducción de costos de operación, entre otros.

Una de las partes fundamentales dentro del ámbito del Laboratorio de Operaciones Unitarias recae en las personas que trabajan de forma directa y frecuente con los equipos, la que están representadas regularmente por los estudiantes de la carrera de Ingeniería Química. Y es a ellos a quienes se les debe informar y capacitar en cuanto a las funciones de mantenimiento.

Las funciones de mantenimiento para los estudiantes se resumen en: uso y llenado de los formatos control de horas de trabajo de equipos (figura 11, página 58) y evaluación operacional (figura 10, página 54), esto sólo cuando no se disponga de personal de mantenimiento. Además también se incluyen dentro de sus funciones, mantener limpio el lugar de trabajo, emplear correctamente los equipos y reportar cualquier anomalía que se pudiera presentar en los equipos.

Las charlas informativas dirigidas a los estudiantes se deben enfocar en mencionar y recalcar todas las responsabilidades y deberes que conlleva la implementación de dicho programa de mantenimiento.

Estas charlas pueden reforzarse haciendo uso de todo el material concerniente aportado en este trabajo y además se propone la creación de otro escrito que explique con detalle la información tratada en dichas reuniones.

Todo esto no solamente se debe hacer para poder inculcar en los estudiantes una filosofía de mantenimiento del equipo del Laboratorio de Operaciones Unitarias para que permanezca en óptimas condiciones, sino también para contribuir en la formación de ingenieros dentro de la Facultad de Ingeniería.

4.4.2. Charla informativa a personal docente y administrativo del laboratorio

Las charlas o sesiones informativas acerca de la implementación del programa de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo que deben dirigirse al personal docente y administrativo del laboratorio, tienen que centrarse en explicar los cambios, responsabilidades, deberes, limitaciones, ventajas y demás aspectos que conlleva la implementación del dicho programa.

Estas sesiones informativas deben estar apoyadas por todo aquel material concerniente expuesto en este trabajo, así como de cualquier otro tipo de material, elaborado por personas que imparten dichas sesiones y que aporte al tema.

Además, a todas aquellas personas que pasen a formar parte del organigrama del personal de mantenimiento (figura 37, página 138) se les deberá inculcar una filosofía que sea acorde a las metas y objetivos propuestos.

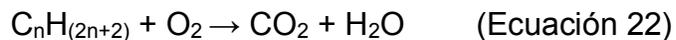
5. MEDIO AMBIENTE

5.1. Desarrollo de problemas medio-ambientales

5.1.1. Emanaciones de humo de la caldera

Los problemas del ambiente a los que puede sujetarse tanto el Laboratorio de Operaciones Unitarias como los alrededores del mismo, debido a las emanaciones de los humos de la caldera pirotubular que se tiene en el lugar, radican principalmente en lo expuesto a continuación.

Se debe hacer énfasis en el hecho de que la caldera del laboratorio utiliza combustible diesel como fuente de energía calorífica, y que las reacciones de combustión de los hidrocarburos utilizados son reacciones químicas exotérmicas, cuyos productos son dióxido de carbono y vapor de agua, tal como se puede observar en la ecuación 22.



Además de estos productos de reacción, durante el proceso de combustión se libera a la atmósfera el azufre contenido en el combustible en forma de anhídrido sulfuroso, junto con otros contaminantes como óxidos de nitrógeno, dióxido de carbono, metales pesados y una gran variedad de sustancias.

La presencia de todos estos hacen que el humo de la combustión tenga una composición compleja, y esto provoca ciertas reacciones sobre el medio ambiente denominada contaminación ambiental. La contaminación atmosférica (contaminación del aire) provocada por los humos de la caldera puede clasificarse en dos efectos:

- Lluvia ácida: el azufre y el nitrógeno son componentes del petróleo y de las gasolinas, que al quemarse provocan óxidos de azufre y de nitrógeno que salen con los humos de la combustión. Al mezclarse estos óxidos con el vapor de agua de la atmósfera se producen ácidos fuertes como sulfúrico y nítrico, que luego caen con la lluvia y abrasan la vegetación, aumentan la acidez del agua o corroen la piedra de monumentos.
- Efecto invernadero: la energía del Sol llega a la Tierra en forma de radiación ultravioleta que traspasa la atmósfera e incide sobre la superficie. En condiciones normales esta energía es expulsada al espacio, pero con concentraciones elevadas de CO₂ o de vapor de agua (nubes) esta radiación es reflejada de nuevo hacia la superficie, con lo cual se aumenta la temperatura en el interior de la atmósfera.

5.1.2. Desecho de residuos sólidos originados por el mantenimiento

Los residuos sólidos son cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final.

Estos residuos son causa de problemas ambientales en las áreas urbanas, rurales y especialmente en zonas industrializadas, ya que generan impacto ambiental negativo por el inadecuado manejo de los mismos, lo cual implica una amenaza para la sostenibilidad y sustentabilidad ambiental. Es por esto que se debe tener especial cuidado en el manejo que se le da a los residuos generados en el hogar, lugar de trabajo y estudio.

Desde el momento en que se dispone de los residuos, estos empiezan un proceso de descomposición en el cual la materia orgánica por medio de bacterias y otros microorganismos generan subproductos que pueden ser nocivos para la salud humana y para el ambiente. Estos subproductos se presentan de manera líquida y gaseosa y cada uno recibe el nombre de lixiviados y gases de descomposición respectivamente.

Entre los factores ambientales impactados por el mal manejo de los residuos sólidos se tienen los siguientes:

Recurso hídrico

El recurso hídrico comprende todos los cuerpos de agua que posee el planeta, estos se pueden subdividir en aguas superficiales y aguas subterráneas. Las aguas superficiales, se pueden contaminar con:

- Contaminación por materia orgánica: la presencia de materia orgánica ($C_xH_yO_z$), en presencia de bacterias, microorganismos y oxígeno, genera compuestos que acidifican el agua, eliminan el oxígeno vital para la vida de las especies acuáticas y hace que las aguas para consumo humano se contaminen y generen problemas de salud.

- Taponamiento y represamiento de caudales: basura, escombros y en general cualquier elemento que pueda represar el cauce normal de un río, puede afectar el flujo normal del agua. En casos como en crecientes repentinas, épocas de invierno o con la presencia de gran cantidad de residuos, estos cauces se represan, produciendo inundaciones, afectando a las familias aledañas a estos cuerpos de agua, dañando zonas de cultivo e impactando negativamente la zona.

La contaminación de las aguas subterráneas ocurre debido a la filtración de lixiviados a través del suelo, ya que éste absorbe estos líquidos y los lleva hasta donde se encuentran las fuentes de agua. El tratamiento de dichas fuentes de agua es altamente costoso y puede llegar a afectar comunidades que dependen únicamente de este recurso, tales como son las zonas desérticas.

Recurso atmosférico

Los residuos sólidos en su proceso de descomposición generan malos olores y gases como metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2). Estos gases ayudan a incrementar el efecto invernadero en el planeta, aumentando la temperatura y generando el deshielo en los polos. Este proceso de descomposición se puede controlar con una correcta disposición de los residuos sólidos a través de su incineración tecnificada, de la ubicación de los residuos en rellenos sanitarios y/o botaderos especializados.

También los residuos sólidos pueden afectar el aire cuando estos son quemados de manera descontrolada, generando humos y material particulado, los cuales afectan el sistema respiratorio de los seres humanos.

Recurso suelo

Este es el recurso más afectado por el inadecuado manejo de los residuos sólidos, ya que el ser humano ha, de haber dispuesto en él, a través de los años, los residuos sólidos generados.

La contaminación ocurre a través de diferentes elementos como son los lixiviados, que se filtran a través del suelo, afectando la productividad del mismo y acabando con la micro fauna que habita en él (lombrices, bacterias, hongos, musgos, entre otros.), lo cual lleva a la pérdida de productividad del suelo, aportando así un incremento en el proceso de desertificación de éste.

La presencia constante de basura en el suelo evita la recuperación de la flora de la zona afectada e incrementa la presencia de plagas y animales que como las ratas, cucarachas, moscas y zancudos, que provocan enfermedades.

Recurso paisajístico

Aunque no es uno de los recursos más renombrados, es uno de los más afectados por la incorrecta disposición de los residuos sólidos, ya que la constante presencia de la basura en lugares expuestos causa un deterioro al paisaje, afectando la salud humana a través de:

- Estrés
- Dolor de cabeza
- Problemas psicológicos
- Trastornos de atención
- Disminución de la eficiencia laboral
- Mal humor

Los efectos enlistados anteriormente, obstruyen el diario laborar y afecta la calidad de vida, impide la armonía con el entorno y afecta a la comunidad en general.

El creciente desarrollo urbano y por ende la gran concentración poblacional del país ha generado un deterioro del paisaje así como de la calidad de vida, por la falta de cultura en cuanto al manejo de los residuos sólidos.

Los tipos de residuos sólidos más importantes, desde un punto de vista personal, que pueden generarse con mayor facilidad dentro de las instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias son los siguientes:

- Residuos de construcción o demolición: aquellos que resultan de la construcción, remodelación y reparación de edificios o de la demolición de pavimentos, edificios y otras estructuras.
- Residuo industrial: residuo generado en actividades industriales como resultado de los procesos de producción, mantenimiento de equipo e instalaciones y tratamiento y control de la contaminación.

Todos los residuos mencionados anteriormente pueden llegar a ser los máximos incidentes respecto a los problemas del ambiente dentro y fuera de las instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias, esto, si no se implementa un sistema de gestión de residuos sólidos adecuado.

5.1.3. Desecho de agua residual de la caldera

Los desechos acuosos o aguas residuales resultantes de las diversas actividades de mantenimiento a las que son sometidas las calderas, se basan principalmente en: agua purgada de las calderas, descargas del agua de enfriamiento, soluciones salinas provenientes de la regeneración del agua de alimentación o por los desechos sólidos como cenizas y sedimentos del fondo de la caldera.

Otros desechos relacionados con el mantenimiento de calderas son las cenizas húmedas provenientes de los lavados del hogar de la caldera y los ácidos usados en la limpieza química de las calderas.

La contaminación ambiental causada por aguas residuales puede darse cuando luego de llevar a cabo las labores de mantenimiento respectivas, se deja correr el agua residual dentro de las áreas aledañas que no cuentan con el diseño apropiado para poder controlarlas, por lo que, estas pueden generar impactos negativos tanto para el ambiente circundante así como para las personas que interactúan en las cercanías del lugar de desecho.

Otra manera en que las aguas residuales de las calderas pueden influir negativamente de manera directa o indirecta en la salud de las personas que consumen agua potable suministrada por la Municipalidad de la ciudad, es a través de desechar, dentro de las tuberías del drenaje municipal, dichas aguas sin ningún tipo de tratamiento adecuado previo.

Lo anteriormente expuesto, implica que a la entidad encargada de purificar el agua se le dificulta el proceso de purificación, ya sea por el hecho de no disponer de un tratamiento adecuado para contrarrestar los agentes contaminantes o por el hecho de no poder detectar estos agentes potencialmente peligrosos para la salud del consumidor.

5.1.4. Almacenamiento de sustancias peligrosas

Antes que nada se tiene que tener presente el tipo de sustancias que son consideradas como peligrosas, con el fin de poder identificar y clasificar adecuadamente todas las sustancias peligrosas con las que se estén trabajando. De igual manera conocer los tipos de sustancias peligrosas ayuda a establecer la manera óptima de manipularlas, evitando así la generación de posibles problemas en el medio ambiente.

Lo que se expone a continuación es un resumen acerca de la clasificación más común de las sustancias peligrosas:

- a. Explosivos: sustancias y preparados sólidos, líquidos, pastosos, o gelatinosos que, incluso en ausencia de oxígeno atmosférico, pueden reaccionar de forma exotérmica con rápida formación de gases y que, en determinadas condiciones de ensayo, detonan, deflagran rápidamente o bajo el efecto del calor, en caso de confinamiento parcial, explotan.
- b. Comburentes: son aquellas sustancias y preparados que, en contacto con otras sustancias, en especial con sustancias inflamables, producen una reacción fuertemente exotérmica.

- c. Extremadamente inflamables: son sustancias y preparados líquidos que tienen un punto de ignición extremadamente bajo y un punto de ebullición bajo, y las sustancias y preparados gaseosos que, a temperatura y presión normales, son inflamables en contacto con el aire.
- d. Fácilmente inflamables: se entenderá por sustancias fácilmente inflamables a las siguientes:
- Sustancias y preparados que pueden calentarse e inflamarse en el aire a temperatura ambiente sin aporte de energía;
 - Sólidos que pueden inflamarse fácilmente tras un breve contacto con una fuente de inflamación y que siguen quemándose o consumiéndose una vez retirada dicha fuente;
 - Líquidos cuyo punto de ignición es muy bajo;
 - Sustancias y preparados que, en contacto con el agua o con el aire húmedo, desprenden gases extremadamente inflamables en cantidades peligrosas.
- e. Inflamables: comprende todas aquellas sustancias y preparados líquidos cuyo punto de ignición es bajo.
- f. Tóxicos: constituye las sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea en pequeñas cantidades pueden provocar efectos agudos o crónicos e incluso la muerte.

- g. Muy tóxicos: son sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea en muy pequeña cantidad pueden provocar efectos agudos o crónicos e incluso la muerte.
- h. Nocivos: sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea pueden provocar efectos agudos o crónicos e incluso la muerte.
- i. Corrosivos: son las sustancias y preparados que, en contacto con tejidos vivos pueden ejercer una acción destructiva de los mismos.
- j. Irritantes: aquellas sustancias y preparados no corrosivos que, en contacto breve, prolongado o repetido con la piel o las mucosas pueden provocar una reacción inflamatoria.
- k. Sensibilizantes: todas aquellas sustancias y preparados que, por inhalación o penetración cutánea, pueden ocasionar una reacción de hipersensibilidad, de forma que una exposición posterior a esa sustancia o preparado dé lugar a efectos negativos característicos.
- l. Carcinogénicos: son sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea pueden producir cáncer o aumentar su frecuencia.

En base a que dentro del Laboratorio de Operaciones Unitarias, la sustancia que se manipula en mayor medida es el combustible diesel, y que de acuerdo a la clasificación de sustancias peligrosas anterior este debe ser tratado como una sustancia inflamable, entonces, el enfoque de las sustancias peligrosas de este trabajo se centrará en las sustancias inflamables.

La combustión en este tipo de combustibles genera emisiones de gases tales como dióxido de carbono, monóxido de carbono y otros, que contribuyen a generar y potenciar el efecto invernadero, con lo que puede causarse el crecimiento del nivel del mar, así como otras catástrofes climáticas.

En tanto, los óxidos de nitrógeno en unión con el dióxido de azufre, provocan la lluvia ácida que daña bosques, sistemas acuáticos, agricultura y obras civiles. La contaminación producida por estos combustibles también puede expandirse al suelo y agua.

5.2. Mitigación de problemas medio-ambientales

5.2.1. Emanaciones de humo de la caldera

5.2.1.1. Determinar elementos contaminantes en los gases

La producción de elementos contaminantes en los humos de la caldera depende en gran medida de la calidad del combustible de la caldera. Dicha calidad se debe enormemente por las proporciones de azufre y cenizas contenidas en el combustible y también por el tipo de proceso de combustión empleado en la caldera.

De lo anterior se deduce que para poder determinar los elementos contaminantes dentro de los humos expulsados por la caldera, se tiene que considerar en primer lugar las características y composición química del combustible, los que se pueden obtener directamente de los proveedores a los que se les compra el combustible, diesel, para el caso del Laboratorio de Operaciones Unitarias.

En segundo lugar se debe considerar el proceso de combustión de la caldera para que de esta manera se pueda obtener una combustión eficiente que permita la reducción de elementos contaminantes al mínimo posible.

Existen varios métodos o pruebas que permiten analizar, determinar y llevar cierto control acerca del grado de la eficiencia de la combustión de la caldera, algunos de ellos son los siguientes:

- Comprobación de tiro
- Comprobación de humo
- Comprobación de dióxido de carbono

El desarrollo de estas comprobaciones se expone en la sección siguiente, 5.2.1.2.

5.2.1.2. Control de elementos de combustión

Partiendo de las comprobaciones capaces de llevar un control acerca de la combustión de la caldera, expuestas en la sección anterior, se procede al desarrollo de cada una de ellas:

Comprobación del tiro

El efecto de tiro es la consecuencia de la diferencia existente entre la temperatura de los gases calientes de salida de la chimenea de la caldera y la atmósfera que los circunda, produciendo una presión negativa respecto de la atmosférica (una succión o tiro).

Un tiro excesivo puede aumentar la temperatura del cañón de la chimenea y reducir el contenido de dióxido de carbono de los gases de salida. Un tiro insuficiente puede dar lugar a la acumulación de una cierta presión en la cámara de combustión de la caldera, dando lugar a la generación de humo y olores alrededor de esta.

Para realizar dicha prueba hay que seguir los siguientes pasos, además de disponer del equipo correspondiente, tubo de tiro mostrado en la figura 44, página 164.

- Perforar un agujero en el área de combustión de la caldera destinado al tubo de tiro. Es necesario para determinar el tiro de sobre-quemado correspondiente a la caldera;
- Situar el medidor de tiro en una superficie que esté cerca de la caldera y a la altura de la vista de la persona que realiza la comprobación, también se debe ajustar el tubo de tiro a cero;
- Encender el quemador de la caldera y mantenerlo funcionando durante un mínimo de cinco minutos;
- Insertar el tubo de tiro en el área de combustión de la caldera para poder comprobar el tiro de sobre-quemado de ésta;
- Insertar el tubo de tiro en la tubería de salida (chimenea de la caldera) para comprobar el tiro de salida.

El tiro de sobre-quemado de una caldera bajo condiciones normales ha de ser, al menos, de -0.5 mm C.A para ser considerado como aceptable.

Figura 44. Equipo empleado para realizar pruebas de comprobación de tiro en calderas



Fuente: Whitman William. Tecnología de la refrigeración y a/c. p. 93, diciembre 2010

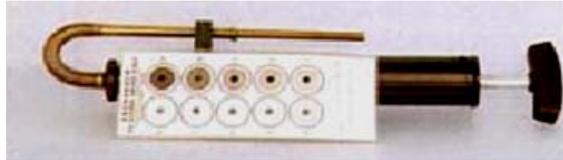
Comprobación del humo

Una generación excesiva de humo es indicativa de una combustión incompleta, la cual puede ser causante de un desperdicio de combustible de hasta un 15%. Un humo excesivo también da lugar a que se acumule hollín en zonas susceptibles de absorber calor de la caldera, reduciéndose así la cantidad de calor absorbida, ya que el hollín es un aislante térmico.

La prueba del humo se lleva a cabo extrayendo un cierto volumen de gases en la parte de la salida del humo de la caldera, esto se logra a través de emplear una superficie específica de papel de filtro.

Luego de tomar la muestra se compara el residuo que ha quedado sobre el papel de filtro con una escala que acompaña al dispositivo de prueba (figura 45, página 165) con la cual se obtiene el grado de generación de hollín en la caldera.

Figura 45. Comprobador de humo, aparato empleado en pruebas de humos de calderas



Fuente: Whitman William. Tecnología de la refrigeración y a/c. p. 94, diciembre 2010

Comprobación del dióxido de carbono (CO₂)

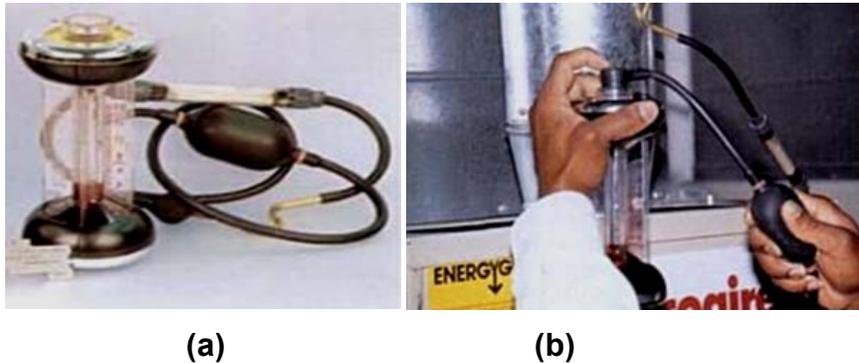
Normalmente en las comprobaciones de CO₂ de los gases de salida de la caldera se espera un elevado contenido de CO₂, de no ser así, significaría que la combustión es ineficiente o incompleta. Si la caldera está funcionando en condiciones normales, habitualmente en los gases de salida de esta, se debería obtener más del 10% de CO₂.

Para realizar la comprobación del CO₂ hay que utilizar el equipo mostrado en la figura 46a, página 166 y además, seguir los siguientes pasos:

- Encender la caldera y mantenerla funcionando durante un mínimo de cinco minutos;
- Insertar el tubo de toma de muestras en el agujero perforado previamente (para comprobación del humo) en la tubería de salida de los humos de la caldera;
- Retirar una muestra de prueba, empleando el procedimiento descrito por el fabricante del instrumento de comprobación empleado;

- Mezclar el fluido del instrumento de comprobación con los gases tomados como muestra en la salida de gases de la caldera, de acuerdo con las instrucciones del fabricante;
- Leer el contenido de CO₂ en la pantalla del instrumento y tomar nota.

**Figura 46. Aparato empleado en pruebas de CO₂ en humos de calderas:
(a) comprobador de CO₂, (b) manera de medir CO₂**



Fuente: Whitman William. Tecnología de la refrigeración y a/c. p. 95, diciembre 2010

5.2.2. Desecho de residuos sólidos originados por el mantenimiento

5.2.2.1. Clasificación de los desechos en contenedores diferentes

La forma que se propone para llevar a cabo el control adecuado de los residuos sólidos resultantes de las actividades de mantenimiento, dentro del Laboratorio de Operaciones Unitarias, es por medio de la clasificación de los residuos en distintos contenedores rotulados adecuadamente.

La clasificación de los residuos se debe hacer en base a los conceptos clave propuestos a continuación:

- Residuos convencionales: son objetos, materiales, sustancias o elementos sólidos que por su naturaleza, uso, consumo y/o contacto con otros elementos, objetos o productos, no son peligrosos. Y que el generador abandona, rechaza o entrega siendo susceptibles de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien (producto) con valor económico o de disposición final. Estos residuos se dividen en aprovechables y no aprovechables.
- Residuos especiales: elementos o sustancias que se desechan, descartan o rechazan y que por su naturaleza, uso, contacto, cantidad, concentración o características son infecciosos, tóxicos, combustibles, inflamables, explosivos, corrosivos, radiactivos, reactivos o volatilizables. Pueden causar riesgo a la salud humana o deteriorar la calidad ambiental en niveles severos. Estos residuos también pueden dividirse en aprovechables y no aprovechables.
- Se consideran residuos peligrosos los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con dichos residuos especiales y que requieren un manejo especial. Quedan incluidos en esta denominación, los residuos que en forma líquida o gaseosa se empaquen o envasen.
- Separación de la fuente: clasificación de los residuos en el sitio donde se generan para su posterior eliminación y/o aprovechamiento.

- **Aprovechamiento:** proceso mediante el cual, a través de una gestión de residuos, los materiales recuperados se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente, por medio de la reutilización, el reciclaje, la incineración con fines de generación de energía, el compostaje y cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales y/o económicos.
- **Basura:** desperdicios que tira el hombre como resultado de su producción y/o consumo y que además no son peligrosos ni susceptibles de aprovechamiento.

En las tablas XXIII y XXIV (p. 169) se da una ligera idea sobre la manera en que se puede llevar a cabo la separación de los desechos sólidos, haciendo uso de los conceptos expuestos anteriormente.

Tabla XXIII. Ejemplo de clasificación de residuos convencionales

Aprovechables	RESIDUOS CONVENCIONALES	No aprovechables
Papel		Residuos de limpieza
Cartón		
Vidrio claro		
Vidrio oscuro		Residuos de repuestos
Plástico reciclable		
Viruta de plomo		
Viruta de cobre y bronce		
Retales de soldadura		Basura
Repuestos mecánicos usados		
Repuestos eléctricos usados		

Fuente: Concesionaria Tibitoc S.A. E.S.P. Gestión de residuos. Diap. 9-11, diciembre 2010

Tabla XXIV. Ejemplo de clasificación de residuos especiales

Aprovechables	RESIDUOS ESPECIALES	No aprovechables
Aceite usado		Guantes de nitrilo
		Residuos químicos líquidos (q.l.) alcalinos
		Residuos q.l. de mercurio
		Residuos q.l. de metales
		Residuos q.l. de plata
		Residuos químicos sólidos
Bombillos		Pilas y balastos
		Estopas y trapos contaminados con q.l.
		Cartón y papel contaminados con q.l.
		Envases y objetos metálicos contaminados con q.l.
		Plástico, caucho contaminado con q.l.
		Filtros usados
		Elementos de protección personal

Fuente: Concesionaria Tibitoc S.A. E.S.P. Gestión de residuos. Diap. 12-14, diciembre 2010

5.2.2.2. Elección de disposición final óptima

La disposición final óptima de los residuos sólidos depende de muchos aspectos, pero principalmente dependen de su capacidad de recuperación (recuperable o no recuperable) y de su capacidad de contención o almacenamiento. A continuación se exponen algunas posibles alternativas de tratamiento de desechos sólidos:

- a. No recuperación: se debe registrar la localización del espacio en el cual se van a depositar, a fin de evitar su uso para actividades para las cuales el suelo ya no es adecuado.

b. Recuperación: hay dos tipos, *in situ* y *ex situ*

- *In situ*

- Biodegradación
- Vitricación
- Degradación química
- Estabilización / solidificación
- Lavado del suelo
- Aireación del suelo

- *Ex situ*

- Degradación biológica: se diluyen los desechos sólidos con aguas negras y luego se tratan con microorganismos.
- Tratamientos químicos: a través de procesos como la oxidación-reducción, precipitación o intercambio iónico.
- Destrucción térmica o incineración: proceso en el cual toda la materia orgánica pasa a ser CO₂, H₂O y cenizas inertes. También pueden llegar a producirse sustancias orgánicas parcialmente quemadas, materia inorgánica particulada, gases ácidos u óxidos de azufre según el material y las condiciones de combustión. Por lo que se debe llevar un control muy estricto.
- Lavado del suelo

- Depósitos de seguridad: consiste en un vertedero en el que se depositan todos los residuos peligrosos finales, debe considerársele como último recurso. Es importante que en estos se lleve un control de las aguas subterráneas producidas.
- c. Contención: estado intermedio entre la recuperación y la no recuperación. Consiste en establecer medidas de seguridad que controlen: la situación presente, eviten el progreso de la contaminación y mitiguen los riesgos de dispersión de los contaminantes. Esto se puede lograr mediante los métodos siguientes:
- Aislamiento: consiste en barreras (paredes de cemento o bentonita, materiales impermeabilizantes, etc.) superficiales y/o subterráneas
 - Reducción de las volatilizaciones
 - Recogida y control de lixiviados: para impedir la dispersión de los contaminantes a través de las aguas subterráneas

5.2.2.3. Capacitación del personal

Puesto que el volumen de los residuos y la composición de estos son factores que dependen básicamente de los hábitos de consumo y manipulación de las personas. Se propone, como medida correctiva, modificar dichos hábitos en toda persona ligada al Laboratorio de Operaciones Unitarias para poder atajar el problema desde la raíz.

El cambio en los hábitos del personal de mantenimiento y de las demás personas que interactúan directamente en las situaciones productoras de desechos sólidos dentro del Laboratorio de Operaciones Unitarias, debe empezar por inculcárseles a estos una cultura enfocada en el cuidado del ambiente. Dicha cultura puede iniciarse con la introducción de la filosofía de las 3R's, cuyo desarrollo se expone a continuación:

- Reducir: es evitar o minimizar la producción de residuos, usando racional y eficientemente los recursos e insumos en toda actividad que se tenga.
- Reutilizar: consiste en devolver a los residuos su potencial en base a su utilización original o en base de alguna otra función productiva, sin requerir procesos adicionales de transformación.
- Reciclar: recuperación de aquellos residuos que mediante su reincorporación como materia prima o insumos sirven para la fabricación de nuevos productos.

5.2.3. Desecho de aguas residuales de la caldera

5.2.3.1. Determinar la composición del agua residual para identificar posibles sustancias peligrosas

Para poder seleccionar y aplicar un tratamiento de aguas residuales, adecuado, se debe iniciar con la identificación de los elementos peligrosos contenidos en ellas. Para esto se empieza analizando las características químicas y físicas del agua empleada en la alimentación de la caldera, seguido por el análisis de los químicos utilizados para tratar dichas aguas y por último se debe analizar la composición química y física de las propias aguas residuales.

Clasificar el agua de alimentación de la caldera ayuda a implementar un sistema de gestión de aguas residuales adecuado, debido a que se podría identificar el tipo de agua (características físicas y químicas) que se tiene. Por ello se propone que la clasificación del agua de alimentación de la caldera sea de acuerdo a la composición de sales minerales presentes en ellas, tal como se describe a continuación:

- Aguas duras: posee una importante presencia de compuestos de calcio y magnesio poco solubles. Principal responsable de la formación de depósitos e incrustaciones en tuberías de la caldera.
- Aguas blandas: su composición principal está dada por sales minerales de gran solubilidad.
- Aguas neutras: conformadas por una alta concentración de sulfatos y cloruros que no aportan al agua tendencias ácidas o alcalinas, o sea que no alteran sensiblemente el valor de pH.
- Aguas alcalinas: aquellas aguas que tienen importantes cantidades de carbonatos y bicarbonatos de calcio, magnesio y sodio. Los cuales proporcionan al agua una reacción alcalina, elevando en consecuencia el valor del pH presente.

5.2.3.2. Elegir método de tratamiento del agua óptimo

Antes que nada se tiene que comprender que el mejor método para tratar las aguas residuales y evitar la contaminación ambiental, radica en la prevención y control de las actividades de mantenimiento generadoras de dichas aguas.

Las actividades de mantenimiento de la caldera que deben controlarse para poder evitar cualquier tipo de contaminación ambiental se mencionan las siguientes:

a. Desechos del hogar de la caldera

- Usar combustibles más limpios: el gas natural es el combustible fósil que se quema con mayor limpieza. Existen aceites y carbones que se queman con mayor limpieza pero su costo puede resultar prohibitivo.
- Usar otros métodos de limpieza: los sopladores de hollín y las bocinas sonoras pueden reducir la necesidad del lavado. La ceniza seca tiene un mayor potencial de reutilización. Pueden emplearse agentes abrasivos para realizar la limpieza pero éstos aumentan la cantidad de desechos creados.
- Reciclar o reutilizar los desechos del hogar de la caldera: el sedimento de cal resultante del tratamiento puede venderse a los fundidores de cobre. Tal vez sea posible recuperar el vanadio de las cenizas del aceite combustible. Las cenizas del carbón pueden usarse como sustituto del cemento en el concreto o en un relleno estructural.

b. Limpieza química de las calderas

- Mejorar el suministro de agua para la caldera: regenerar con rapidez las resinas de intercambio de iones. Instalar equipo para ósmosis inversa antes del sistema de intercambio de iones a fin de reducir la carga del mineral y la frecuencia de regeneración.

- Controlar la química del agua de la caldera: utilizar hidracina para controlar el oxígeno disuelto, emplear morfolina para controlar el dióxido de carbono.
- Reducir el ingreso de contaminantes: mejorar los sellos del equipo para evitar que las fugas de aire y agua de enfriamiento penetren en la caldera.
- Basar la limpieza en la acumulación de depósitos: utilizar cupones para medir la acumulación de costras y programar la limpieza de acuerdo con ello.
- Utilizar la limpieza en línea: los depósitos pueden eliminarse mediante una inyección de poliacrilato de sodio sin necesidad de apagar la caldera.
- Reutilizar el agua residual: el agua residual puede utilizarse como relleno para la torre de enfriamiento o como agua de alimentación para los depuradores de ceniza y para las unidades de desazufado del gas de combustión. Tal vez sea necesario algún tratamiento previo o separación.
- Reutilizar el sedimento de cal: los sedimentos provenientes del tratamiento con cal para los desechos de limpieza química pueden venderse a los fundidores de cobre para que sean reutilizados.

Luego de adoptar las medidas preventivas descritas anteriormente, se propone la selección e implementación de un método de tratamiento de aguas residuales óptimo.

La selección del método adecuado para el tratamiento de aguas residuales tiene por objetivo primordial la eliminación o modificación de los contaminantes perjudiciales para la salud humana o el entorno acuático, terrestre o aéreo.

En la parte siguiente se hace referencia a una serie de procesos destinados al tratamiento de aguas residuales.

Antes de proceder con los procesos de tratamiento, se tener bajo consideración que los contaminantes en general se eliminan de las aguas residuales en orden de dificultad creciente: primero trapos, palos y otros objetos grandes luego arenilla y por último el resto.

a. Procesos de tratamiento físicos

- Sedimentación
- Tamizado y separación por membranas
- Flotación
- Evaporación
- Adsorción

b. Procesos químicos

- Oxidación-reducción
- Precipitación
- Neutralización
- Floculación y coagulación
- Intercambio iónico

c. Tratamiento con base en terrenos

- Pantanos: sedimentación, filtración, adsorción y descomposición bacteriana
- Estanques o lagunas de oxidación (tratamiento biológico)
- Lagunas aireadas (similar a lo anterior pero con aire introducido por medios mecánicos)

5.2.3.3. Capacitación del personal

El papel del comportamiento de las personas en cuanto al cuidado del ambiente es muy importante debido a que son éstas (personal de mantenimiento, administrativo, operativo y en general todas aquellas personas que tengan contacto con las instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias) las que van a determinar el grado de éxito de cualquier programa de gestión de desechos y residuos implementado dentro del laboratorio.

Dicho grado de conciencia se puede ir generando y cultivando a través de capacitaciones que expresen la necesidad y obligación de cuidar el ambiente. Además se deben recalcar los aspectos positivos y negativos que pueden surgir durante la implementación de un programa de gestión de desechos y residuos.

Las capacitaciones de aguas residuales de la caldera deben ir enfocadas, principalmente, al personal de mantenimiento, ya que ellos son los encargados de realizar las actividades en donde generalmente se originan las aguas residuales.

Dichas capacitaciones deben incluir temas acerca de la manera correcta y adecuada en que se deben desarrollar las actividades generadoras de residuos acuosos.

Así mismo, deben dirigirse capacitaciones al personal administrativo y a autoridades del Laboratorio de Operaciones Unitarias debido a que son ellos los que tienen cierta potestad en cuanto a la aprobación de proyectos relacionados con los programas de gestión de desechos y residuos.

Las capacitaciones para administrativos y autoridades deben centrarse mayormente en la concientización de las responsabilidades del cuidado del ambiente que recaen sobre ellos.

5.2.4. Almacenamiento de sustancias peligrosas

5.2.4.1. Determinar el lugar óptimo para el almacenaje

Para determinar el lugar óptimo de almacenamiento del diesel (sustancia peligrosa de mayor importancia dentro del Laboratorio de Operaciones Unitarias), el lugar debe cumplir con ciertos aspectos antes de poder ser considerado como espacio óptimo de almacenamiento. Los aspectos más importantes que se deben cumplir se mencionan a continuación:

- a. Evitar la evaporación: en el combustible diesel la evaporación no es un problema tan considerable como con la gasolina, ya que este no tiende a perder demasiado volumen, pero siempre se le debe tener bajo consideración.

- b. Mantener el combustible libre de suciedad: algunos sistemas por los que fluye el diesel constan de partes con tolerancia de admisión de partículas de milésimas de milímetro. Por eso se debe cuidar al diesel de no contener partículas de polvo muy finas que puedan dañar dichas partes y ocasionar una falla.
- c. Prevenir la entrada de humedad: esto se busca debido a que solamente con una pequeña cantidad de humedad se puede producir oxidación en los componentes internos de bombas u otros sistemas por los que fluye el diesel y además si éste se quisiera utilizar como lubricante, este pierde dichas propiedades al mezclarse con agua.
- d. Evitar la degradación: en el diesel se presenta una formación de ceras y parafina por bajas temperaturas y por oxidación si se está almacenado demasiado tiempo. Para evitar esto, dentro del tanque del diesel, se debe mantener bajo la sombra, previniendo así problemas por humedad.
- e. Procurar instalar los tanques por lo menos a doce metros del edificio más cercano, si es un tanque enterrado, mantenerlo a medio metro de separación. La Asociación Nacional de Protección contra Incendios de Estados Unidos establece que los derrames al manejar combustible presentan el mayor riesgo por la emisión de gases inflamables.

Todos los aspectos anteriores representan solamente algunos de los aspectos que deben tomarse en cuenta para seleccionar el lugar óptimo para el almacenaje del diesel. Estos lineamientos tienen que cumplirse para poder aprovechar al máximo la eficiencia y el buen desempeño de dicho combustible.

En caso contrario, se puede llegar a incurrir en: un incremento de gastos al tener que reponer combustible deteriorado y/o dar la pauta para incentivar la contaminación ambiental y el riesgo de personas.

5.2.4.2. Selección adecuada de contenedores para almacenamiento

Ya que actualmente dentro del Laboratorio de Operaciones Unitarias se cuenta con un recipiente fijo, figura 47, anclado a la losa del edificio, cerrado, del laboratorio, se procede a exponer una serie de recomendaciones y requerimientos, básicos, con los que debe cumplir un recipiente de este tipo.

Figura 47. Recipiente o tanque contenedor de diesel del Laboratorio de Operaciones Unitarias



Fuente: Laboratorio de Operaciones Unitarias, enero 2011

El almacenamiento de combustibles en recipientes fijos dentro de edificios o estructuras cerradas es permitido solamente si la instalación de dicho recipiente se adecua a las exigencias de temperatura, viscosidad, pureza, estabilidad, sensibilidad a cambios de temperatura y demás aspectos correspondientes al combustible almacenado.

Además, en ningún caso la disposición de los recipientes dentro de edificios deberá entorpecer las salidas normales ni las de emergencia, ni serán obstáculo para el acceso a equipos o áreas destinadas a la seguridad.

Los recipientes deberán ser construidos con un material adecuado para las condiciones de almacenamiento y el producto almacenado. Como propuesta general se recomienda nunca almacenar diesel en tanques galvanizados o de bronce, ya que el diesel reacciona químicamente con el zinc (componente de ambas aleaciones) y forma partículas sólidas que rápidamente saturan los filtros del recipiente.

El diseño de los recipientes se debe hacer de acuerdo con las reglamentaciones técnicas vigentes sobre la materia. En ausencia de estas, se realizará un proyecto de diseño en el que se tendrán en cuenta, como mínimo, los siguientes aspectos:

- Peso total lleno del líquido a contener
- Presión y depresión interior de diseño
- Sobrecarga de uso
- Acciones sísmicas
- Efectos de la lluvia
- Techo flotante
- Temperatura del producto
- Efectos de la corrosión en el interior y exterior del recipiente

Dichos recipientes fijos podrán ser de cualquier forma o tipo, siempre que sean diseñados y construidos conforme a las reglamentaciones técnicas vigentes sobre la materia o, en su ausencia, con códigos o normas de reconocida solvencia.

Durante la fabricación se deberán seguir las inspecciones y pruebas establecidas en la misma documentación empleada para el diseño del recipiente.

Una de las formas tradicionales de los recipientes para combustibles inflamables, es tal y como se muestra en la figura 48. Similar al que actualmente se tiene dentro del Laboratorio de Operaciones Unitarias (figura 47, página 180).

Figura 48. Ejemplo de recipiente convencional para combustibles inflamables



Fuente: www.deere.com, noviembre 2010

El diseño tradicional del tipo de recipiente mostrado en la figura 48, consiste en una estructura de soporte apoyada en el suelo o sobre fundiciones de hormigón, acero, obra de fábrica o pilotes. Las fundiciones estarán diseñadas para minimizar la posibilidad de asentamientos desiguales y la corrosión en cualquier parte del recipiente apoyado sobre ellas.

Todo recipiente de almacenamiento deberá disponer de sistemas de venteo para prevenir la deformación del mismo como consecuencia de llenados, vaciados o cambios de temperatura ambiente. Otros aspectos importantes en cuanto a los recipientes de sustancias inflamables se describen a continuación:

a. Tuberías y accesorios

- Las conexiones a un recipiente por las que el líquido puede circular, deberán llevar una válvula manual externa situada lo más próximo a la pared del recipiente. Se permite la adición de válvulas automáticas, internas o externas. Las conexiones por debajo del nivel del combustible, a través de las cuales éste no circula, llevarán un cierre estanco. Una sola válvula que conecte con el exterior no se considera cierre estanco.
- Los materiales de las tuberías, válvulas y accesorios serán adecuados a las condiciones de presión y temperatura, compatibles con el fluido a transportar, y diseñados de acuerdo con códigos de reconocida solvencia o con los principios de la buena práctica.
- Las válvulas unidas a los recipientes y sus conexiones serán de acero o fundición nodular, salvo en caso de incompatibilidad del líquido almacenado con dichos materiales. Cuando las válvulas se instalen fuera del recipiente el material deberá tener una ductilidad y punto de fusión comparables al acero o fundición nodular a fin de poder resistir razonablemente las tensiones y temperaturas debidas a la exposición de fuego.

- Podrán utilizarse materiales distintos del acero o fundición nodular cuando las válvulas estén dispuestas en el interior del recipiente.
- Las uniones serán estancas al líquido. Se usarán uniones soldadas, embridadas, roscadas o cualquier otro tipo de conexión adecuado al servicio.

b. Drenaje

- Las redes de drenaje se diseñarán para proporcionar una adecuada evacuación de los fluidos residuales, agua de lluvia, de proceso, de servicios contra incendios y otros similares. Los materiales de las conducciones y accesorios serán adecuados para resistir el posible ataque químico de los productos que deben transportar.

c. Carga y descarga de combustible

- La plataforma en la que se estacionan los vehículos durante la carga/descarga tendrá una pendiente del 1% hacia los sumideros de evacuación, de tal forma que cualquier derrame accidental fluya rápidamente hacia ellos. El sumidero se conectará con la red de aguas contaminadas o a un recipiente o balsa de recogida de capacidad suficiente para contener el presumible derrame.
- La pendiente y configuración de la plataforma será tal que si existiese una instalación de agua pulverizada, ésta se recoja en los citados sumideros, pasando a una conducción con diámetro y pendiente adecuados para dicho caudal.

d. Cerramiento o aislamiento

- Toda el área de almacenamiento de combustible debe disponer de un cerramiento al exterior, rodeando el conjunto de sus instalaciones. La altura mínima de dicho cerramiento deberá ser:
 - De 2 metros para almacenamientos globales de hasta 2,000 metros cúbicos
 - De 2,5 metros para almacenamientos globales superiores a 2,000 metros cúbicos
- El cerramiento no debe obstaculizar la aireación y se realizará preferentemente con malla metálica o con muro macizo. El cerramiento debe construirse de forma que no obstaculice la intervención y evacuación, en caso de necesidad, mediante accesos estratégicamente situados.
- Si el vallado es de muro macizo, se tendrá en cuenta la salida de aguas pluviales que pudieran almacenarse en sus puntos bajos, y si esta salida es al exterior, se dispondrá de sifón de cierre hidráulico que, permitiendo la salida del agua, impida el escape de gases más pesados que el aire que, eventualmente, pudieran alcanzar dicha salida.

e. Protección contra incendios

- La protección contra incendios en un almacenamiento de líquidos inflamables y sus instalaciones conexas está determinada por el tipo de líquido, la forma de almacenamiento, su situación y/o la distancia a otros almacenamientos. Por lo que, en cada caso, deberá seleccionarse el sistema y agente extintor que más convenga.
- En las instalaciones del almacenamiento deberá haber extintores de clase adecuada al riesgo. En las zonas de manejo de líquidos inflamables donde puedan existir conexiones de mangueras, válvulas de uso frecuente o análogo, estos extintores se encontrarán distribuidos de manera que no haya que recorrer más de quince metros, desde el área protegida, para alcanzar el extintor.
- Generalmente los extintores son de polvo, portátiles o sobre ruedas. En las zonas de riesgo eléctrico se utilizarán, preferiblemente, extintores de CO₂.

5.2.4.3. Capacitación del personal

Las capacitaciones para este tipo de actividades de manipulación de sustancias inflamables, deben centrarse principalmente en dos puntos.

El primer punto importante a recalcar en las capacitaciones, dirigidas esencialmente a personal de mantenimiento, debe ser acerca de los cuidados y manipulación adecuada, en general, que se debe tener con dicha sustancia inflamable. Esto se debe hacer con el fin de evitar cualquier tipo de accidente y para poder evitar cualquier situación y/o condición insegura.

A manera de ejemplo se expone a continuación un resumen de lo que debería ser una serie de lineamientos o procedimientos en cuanto al adecuado almacenamiento del diesel (sustancia inflamable relevante dentro del Laboratorio de Operaciones Unitarias).

- El agua no sedimenta rápidamente en el diesel, por ello se debe considerar un tiempo de veinticuatro horas después de que se llene el recipiente de almacenamiento para que agua y suciedad sedimenten al fondo.
- No permitir que la manguera o tubería de succión del recipiente de almacenamiento llegue al fondo de este, ya que se estaría retirando diesel con agua y sedimentos. El fondo y la manguera deben estar a unos diez centímetros de separación.
- No admitir que se junte agua en la superficie del recipiente de almacenamiento ya que puede llegar a oxidarse el metal.
- No emplear recipientes abiertos para transportar diesel de un lugar a otro, ya que esto favorece la entrada de polvo y otros contaminantes. Si se manejan tambos, utilizar una bomba manual con manguera para retirar el diesel.
- No utilizar recipientes que anteriormente se emplearon para almacenar gasolina u otras sustancias, ya que pueden ser de distintos materiales no adecuados para lo que se requiere almacenar.
- Siempre drenar el recipiente de almacenamiento antes de rellenar, y limpiar dos veces al año dicho recipiente.

El segundo punto importante que se propone recalcar dentro de las capacitaciones, debe basarse en la concientización del cuidado del ambiente y en las posibles implicaciones negativas que pudieran generar ciertas actividades de mantenimiento y/o manipulación del combustible.

Este último punto a recalcar en las capacitaciones se propone que sea dirigido tanto a personal de mantenimiento como a personal administrativo y operativo (estudiantes que utilizan los equipos) del Laboratorio de Operaciones Unitarias.

6. SEGUIMIENTO Y MEJORA

6.1. Propuesta de parámetros de medición para indicadores de mantenimiento

Los parámetros de medición óptimos que deben tratar de alcanzar los indicadores de mantenimiento propuestos (sección 2.3, páginas 56 y 57) para ser considerados como aceptables deben estar acorde con las metas, objetivos, calidad del producto (aprendizaje del estudiante), disponibilidad económica y demás aspectos requeridos en cada etapa (crecimiento, madurez y decaimiento) que vaya surgiendo dentro del Laboratorio de Operaciones Unitarias.

Al querer adaptar los parámetros de medición de los indicadores de mantenimiento de acuerdo a lo expuesto en el párrafo anterior, es que se torna difícil el establecimiento de dichos parámetros de medición. Por lo mismo se propone una serie de valores mínimos que podrían asumir en distintas etapas o situaciones en el Laboratorio de Operaciones Unitarias.

La tabla XXV, página 190, muestra los parámetros de medición mínimos, propuestos, a los que deberían sujetarse los indicadores de mantenimiento descritos en dicha tabla.

Tabla XXV. Propuesta de parámetros de medición mínimos para indicadores de mantenimiento propuestos

Indicador de mantenimiento	Descripción	Parámetro de medición mínimo	
Disponibilidad	Porcentaje del tiempo de operación en que el equipo se encuentra disponible.	70%	
Tiempo medio para la reparación	Tiempo promedio estimado para que el equipo se recupere de una falla.	5 hrs./falla	Gran fallo
		2 hrs./falla	Fallo pequeño
Tiempo medio para la falla	Tiempo promedio que estimado para que surja la falla el equipo.	572 hrs./falla	

Fuente: propia

El parámetro de medición para el indicador tiempo medio para la falla, mostrado en la tabla XXV, representa un año de labores dentro del Laboratorio de Operaciones Unitarias. Esto con base en las jornadas de trabajo mencionadas en la sección 1.1.6, página 5.

6.2. Formulación de propuestas de corrección para valores bajos de indicadores de mantenimiento

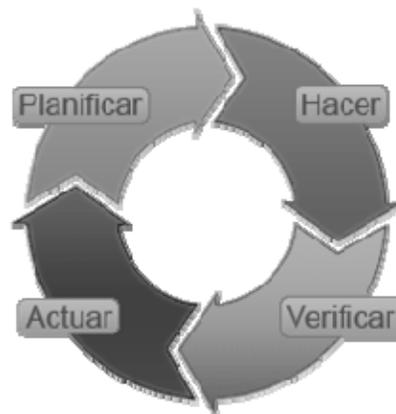
Para los casos en que los indicadores disponibilidad y tiempo medio para la falla reflejen valores menores a los propuestos en la tabla XXV y/o en el caso que el indicador tiempo medio para la reparación tome valores mayores a los mostrados en dicha tabla, entonces, se debe procurar la búsqueda e implementación de nuevas formas o métodos de llevar el mantenimiento debido a que ese tipo de valores descritos representan un mal desempeño de las labores de mantenimiento.

Al querer corregir los valores de mal desempeño de los indicadores de mantenimiento, se debe empezar por identificar todos los posibles aspectos y/o actividades que puedan estar influyendo negativamente en dichos valores.

La identificación se puede establecer mediante un análisis retroactivo de la información recabada por los documentos propuestos para controlar las actividades de mantenimiento (historial de fallas, OT, hojas de horas de trabajo por equipo, evaluaciones operacionales), además de considerar información proporcionada por personal de mantenimiento.

Una filosofía que puede ayudar a mejorar los valores de mal desempeño de los indicadores de mantenimiento, es la filosofía de mejora continua, la cual se puede representar por medio del Círculo de Deming o Círculo de Calidad mostrado en la figura 49.

Figura 49. Círculo de Deming o Círculo de Calidad



Fuente: www.temperies.com, noviembre 2010

El Círculo de Deming es una estrategia de mejora continua de la calidad, resumida en cuatro pasos, los cuales se señalan en la tabla XXVI, página 192.

Tabla XXVI. Pasos de la estrategia de mejora continua del círculo de Deming

Pasos		Descripción	Herramientas de soporte
1	Planear	Establecer objetivos y procesos necesarios para obtener los resultados de acuerdo con el resultado esperado.	»Tormenta de ideas »Diagrama de Pareto »Diagrama Causa-Efecto »Diagramas de Flujo
2	Hacer	Implementar los nuevos procesos, si es posible, en modalidad de prueba.	»Análisis de procesos »Uso de formatos »Manuales de organización y procedimientos
3	Verificar	Pasado un período previsto, volver a recopilar datos de control y analizarlos, para evaluar si se ha producido la mejora esperada y documentar.	»Reportes de servicios de mantenimiento proporcionados »Análisis de indicadores de mantenimiento
4	Actuar	Modificar procesos según conclusiones del paso anterior para alcanzar los objetivos deseados; aplicar nuevas mejoras si se detectaron errores y documentar.	»Manuales »Herramientas de primer paso

Fuente: propia

6.3. Base de datos digital del mantenimiento

6.3.1. Definir la información necesaria para crear una hoja dinámica en *Excel*

Debido a que para el seguimiento y mejora continua del programa de mantenimiento, los indicadores de mantenimiento representan una parte muy importante, basándose en el hecho de que éstos pueden generar decisiones radicales que cambien el rumbo del programa de mantenimiento propuesto. Se propone, entonces, almacenar y manipular los valores correspondientes a los indicadores por medio de una hoja o tabla dinámica de *MS Excel*.

6.3.2. Crear modelo de hoja dinámica en *Excel*

Para poder disponer de un banco de información digital acerca de los valores históricos de los indicadores de mantenimiento, se debe llevar a cabo en primer lugar el almacenaje de dichos datos en un documento de *MS Excel*. En dicho documento se debe elaborar una tabla tal y como se ilustra en la tabla XXVII, o por lo menos, seguir el patrón principal de la tabla.

Tabla XXVII. Ejemplo de tabla de *MS Excel* necesaria para la creación de una hoja dinámica

Trimestre 201X	Tipo de indicador	Valor del indicador
Primero	TMPF (hr/falla)	
Primero	TMPR (hr/falla)	
Primero	Disponibilidad (%)	
Segundo	TMPF (hr/falla)	
Segundo	TMPR (hr/falla)	
Segundo	Disponibilidad (%)	
Tercero	TMPF (hr/falla)	
Tercero	TMPR (hr/falla)	
Tercero	Disponibilidad (%)	
Cuarto	TMPF (hr/falla)	
Cuarto	TMPR (hr/falla)	
Cuarto	Disponibilidad (%)	

Fuente: propia

La tabla XXVII tiene la intención de registrar los valores históricos de los indicadores de mantenimiento a lo largo del tiempo de implementación de los mismos, con el fin de poder observar la variabilidad individual y grupal de estos, en cierto periodo. La variabilidad de datos se analizará por medio del estudio y observación de gráficas dinámicas creadas a partir de los valores almacenados en tablas de *MS Excel*.

Para lograr un mayor entendimiento en cuanto al uso y manejo de las tablas dinámicas de los indicadores de mantenimiento, se procede a desarrollar un ejemplo.

Ejemplo: los datos con los que se inicia la creación de la tabla dinámica en *MS Excel*, surgen de los diversos valores obtenidos de los indicadores de mantenimiento, a lo largo de un período establecido.

Para este ejemplo el periodo de análisis supuesto es de 1 año, en el cual trimestralmente se evalúa el progreso de los programas de mantenimiento mediante los indicadores de mantenimiento. El tipo de éste indicador así como sus valores respectivos durante el período establecido se resume en la tabla XXVIII.

Cabe mencionar que los valores manejados son valores escogidos aleatoriamente y que no representan una situación real. Para ello se *emplea MS Excel 2007*.

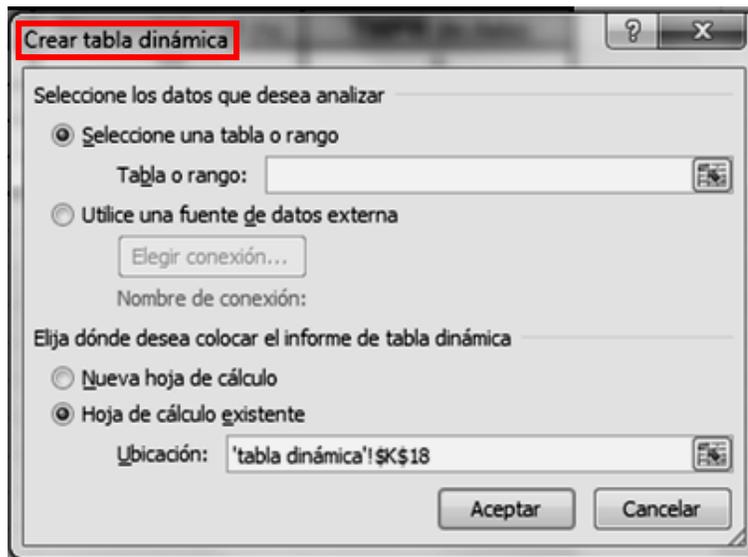
Tabla XXVIII. Datos para ejemplo de creación de tabla dinámica

Trimestre 2010	Tipo de indicador	Valor del indicador
Primero	TMPF (hr/falla)	356
Primero	TMPR (hr/falla)	5
Primero	Disponibilidad (%)	70
Segundo	TMPF (hr/falla)	475
Segundo	TMPR (hr/falla)	8
Segundo	Disponibilidad (%)	65
Tercero	TMPF (hr/falla)	430
Tercero	TMPR (hr/falla)	6
Tercero	Disponibilidad (%)	80
Cuarto	TMPF (hr/falla)	572
Cuarto	TMPR (hr/falla)	4
Cuarto	Disponibilidad (%)	78

Fuente: propia

Luego de crear la tabla, se procede a hacer clic en la pestaña Insertar y clic en el ícono de la tabla dinámica para que aparezca el cuadro de diálogo llamado crear tabla dinámica tal como el de la figura 50. Este proceso se hace teniendo abierto el programa de *MS Excel*.

Figura 50. Cuadro de diálogo, crear tabla dinámica, en *MS Excel* 2007



Fuente: propia

Dentro del cuadro de diálogo de la figura 50, se hace clic en el ícono  del campo Tabla o rango para poder seleccionar con el mouse la tabla entera, creada anteriormente. Incluyendo la fila de los nombres de columna (Trimestre 2010, Tipo de indicador y Valor del indicador).

Tras seleccionar la tabla entera se debe hacer clic en Aceptar. Como resultado de esto se obtiene un nuevo cuadro de diálogo llamado listado de campos de tabla dinámica, al costado derecho de la misma hoja de *MS Excel*, tal como el de la figura 51, página 196. Este se deja inactivo por el momento.

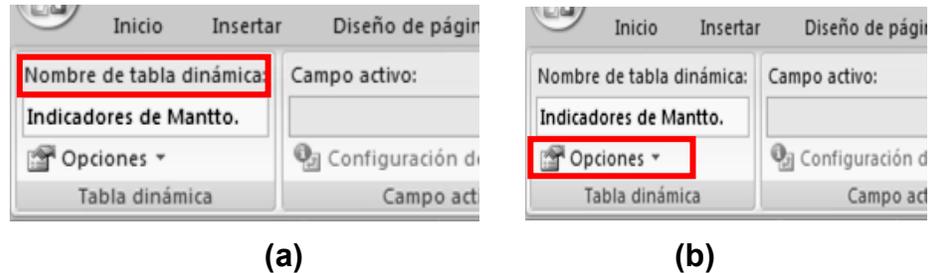
**Figura 51. Cuadro de diálogo, lista de campos de tabla dinámica, en
MS Excel 2007**



Fuente: propia

Ahora, se le debe colocar un nombre a la tabla, en este ejemplo se le coloca el de Indicadores de Mantto. dentro del campo Nombre de tabla dinámica localizado en el extremo izquierdo de la barra de herramientas, figura 52a, p. 197. Luego se debe hacer clic en el ícono Opciones localizado debajo del campo donde se colocó antes el nombre de la tabla, figura 52b, p. 197.

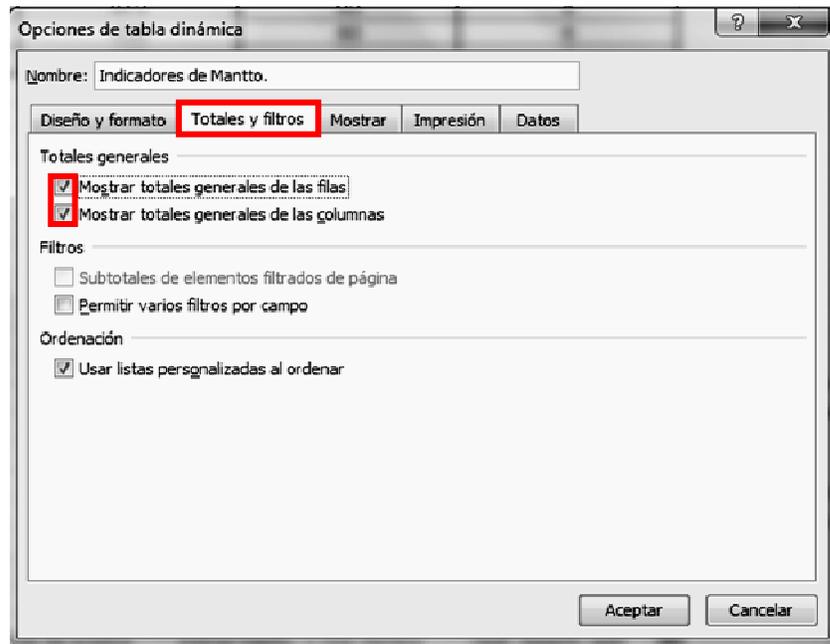
Figura 52. Elementos de la barra de herramientas de MS Excel:
(a) nombre de tabla dinámica, (b) icono opciones



Fuente: propia

Con lo anterior, se obtiene un cuadro de diálogo llamado Opciones de tabla dinámica en el que se debe hacer clic en la pestaña Totales y filtros, para luego deseleccionar (clic en cheques azules) las opciones Mostrar totales generales de las filas y Mostrar totales generales de las columnas. Esto evita que se sumen automáticamente los valores de los indicadores, figura 53.

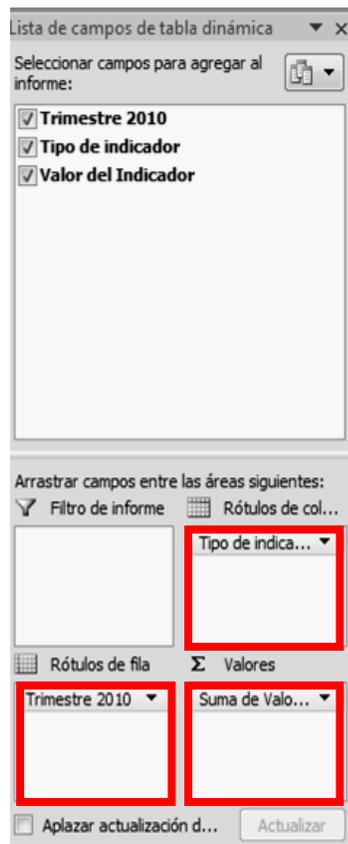
Figura 53. Cuadro de diálogo, opciones de tabla dinámica, en MS Excel



Fuente: propia

Tras realizar las configuraciones anteriores, se regresa al cuadro de diálogo de la figura 51, página 196. En éste se tiene que arrastrar, con el mouse, cada uno de los campos enlistados en la parte de arriba (Trimestre 2010, Tipo de indicador y Valor del indicador) de tal forma que la distribución de los campos, dentro del cuadro de diálogo, quede de la misma forma presentada en la figura 54.

Figura 54. Distribución de campos dentro del cuadro de diálogo, lista de campos de tabla dinámica



Fuente: propia

Al finalizar de arrastrar todos los campos se obtiene una tabla dinámica tal como la que se observa en la figura 55, página 199.

Figura 55. Modelo de tabla dinámica parcialmente terminada

Suma de Valor del Indicador	Rótulos de columna		
Rótulos de fila	Disponibilidad (%)	TMPF (hr/falla)	TMPR (hr/falla)
Cuarto	78	572	4
Primero	70	356	5
Segundo	65	475	8
Tercero	80	430	6

Fuente: propia

Ahora que ya se tiene la tabla dinámica, solamente hace falta modificar algunos elementos. Se empieza por cambiar algunos nombres o títulos de la tabla, con el fin de tener todo acorde a lo que se quiere analizar.

Para poder cambiar los nombres, se hace doble clic en la casilla de la tabla dinámica que se quiere cambiar y luego se introduce el nombre nuevo.

Para este ejemplo se realizan los siguientes cambios: el nombre de Rótulos de columna se cambia por el de Indicador, el de Rótulos de fila se cambia por Trimestre y por último se cambia el nombre de Suma de valor del indicador por Indicadores de Mantenimiento.

En la figura 56 se ven remarcadas las casillas con los nombres ya cambiados.

Figura 56. Tabla dinámica con nombres de campo cambiados

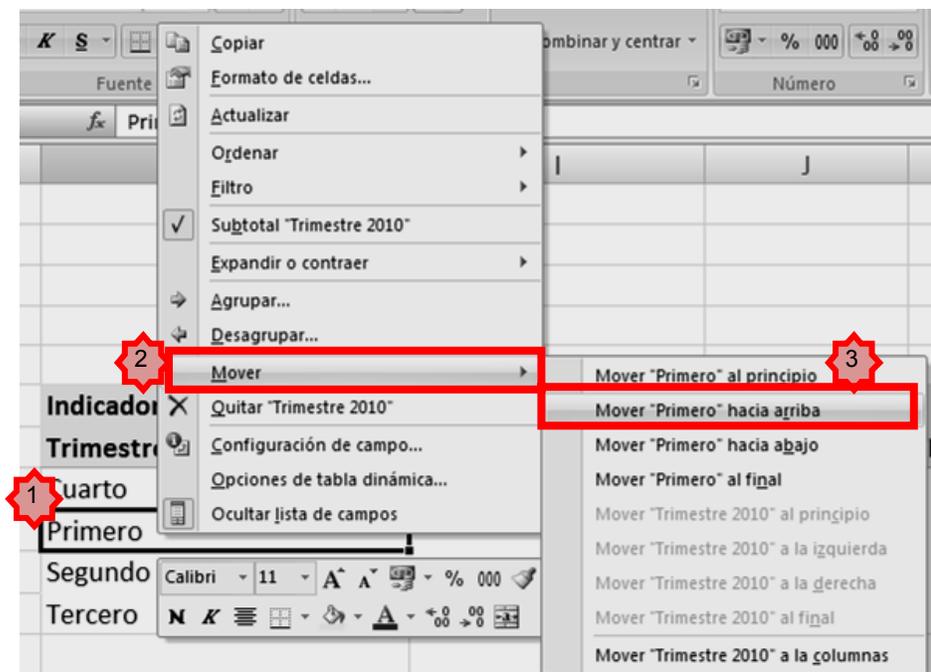
Indicadores de Mantto.	Indicador		
Trimestre	Disponibilidad (%)	TMPF (hr/falla)	TMPR (hr/falla)
Cuarto	78	572	4
Primero	70	356	5
Segundo	65	475	8
Tercero	80	430	6

Fuente: propia

La última modificación consiste en ordenar la secuencia de los trimestres, ya que al crear la tabla se colocaron en desorden automáticamente.

Para empezar a ordenar, se hace clic en la casilla Primero, dentro de la columna Trimestre, luego clic en Mover y por último se selecciona la opción que permite colocar dicha casilla en el lugar que se necesite. En este caso se necesita mover hacia arriba la casilla seleccionada. Dicho proceso se puede observar en la figura 57.

Figura 57. Procedimiento para mover verticalmente una casilla dentro de la tabla dinámica



Fuente: propia

De igual manera se hace con las demás casillas hasta dejar todas las casillas ordenadas (figura 58, página 201). Con todo ese procedimiento se finaliza completamente la creación de la tabla dinámica.

Figura 58. Tabla dinámica totalmente terminada, MS Excel 2007

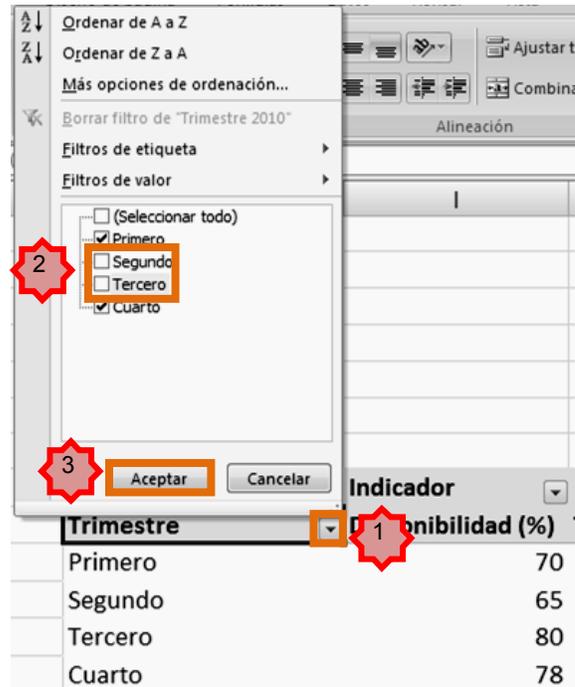
Indicadores de Mantto.	Indicador 		
Trimestre 	Disponibilidad (%)	TMPF (hr/falla)	TMPR (hr/falla)
Primero	70	356	5
Segundo	65	475	8
Tercero	80	430	6
Cuarto	78	572	4

Fuente: propia

Una de las ventajas que proporciona el uso de tablas dinámicas, es que permite filtrar o quitar de la tabla algunos datos que en el momento no se requieran analizar.

Por ejemplo, si solamente se quisieran analizar los datos del primero y cuarto trimestre, entonces, se debe hacer clic sobre el icono  del campo o casilla Trimestre contenida dentro de la tabla dinámica. Seguidamente se deseleccionan (hacer clic en cheques) las casillas segundo y tercero y por último hacer clic en Aceptar (figura 59, página 202).

Figura 59. Procedimiento para filtrar contenido de filas de una tabla dinámica



Fuente: propia

Con lo anterior, queda la tabla dinámica de la figura 60.

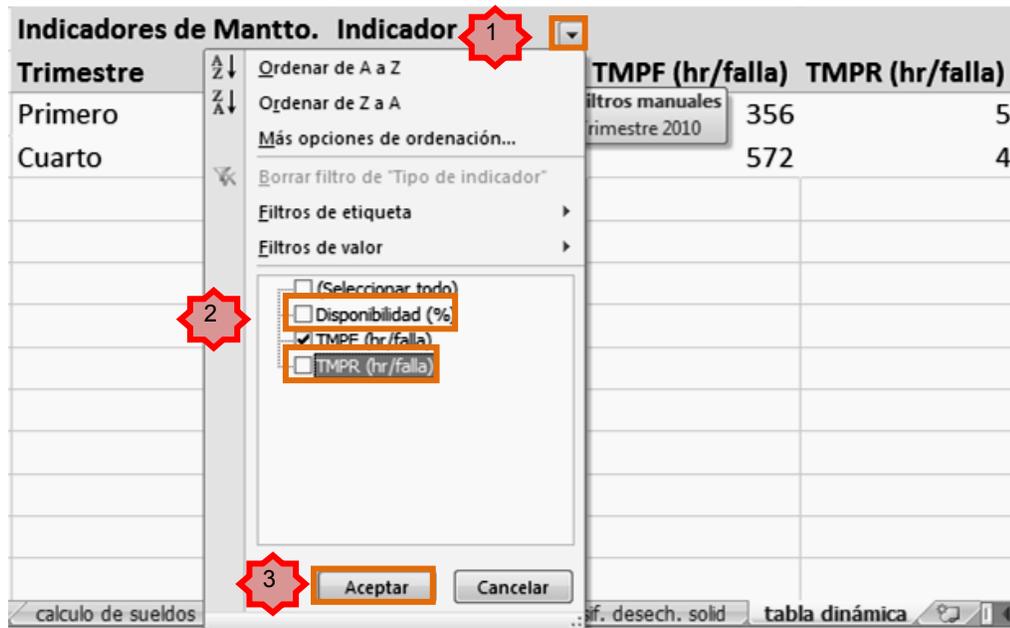
Figura 60. Tabla dinámica con valores de fila filtrados

Indicadores de Mantto.	Indicador		
Trimestre	Disponibilidad (%)	TMPF (hr/falla)	TMPR (hr/falla)
Primero	70	356	5
Cuarto	78	572	4

Fuente: propia

De igual manera se puede filtrar los indicadores que se requieran analizar. Por ejemplo, el indicador TMPF. Para filtrar este indicador se procede de la misma forma en que se filtraron los trimestres, figuras 61 y 62 (ambas en la página 203).

Figura 61. Procedimiento para filtrar contenido de columnas de una tabla dinámica



Fuente: propia

Figura 62. Tabla dinámica con valores de columna y fila filtrados

Indicadores de Mantto.	Indicador
Trimestre	TMPF (hr/falla)
Primero	356
Cuarto	572

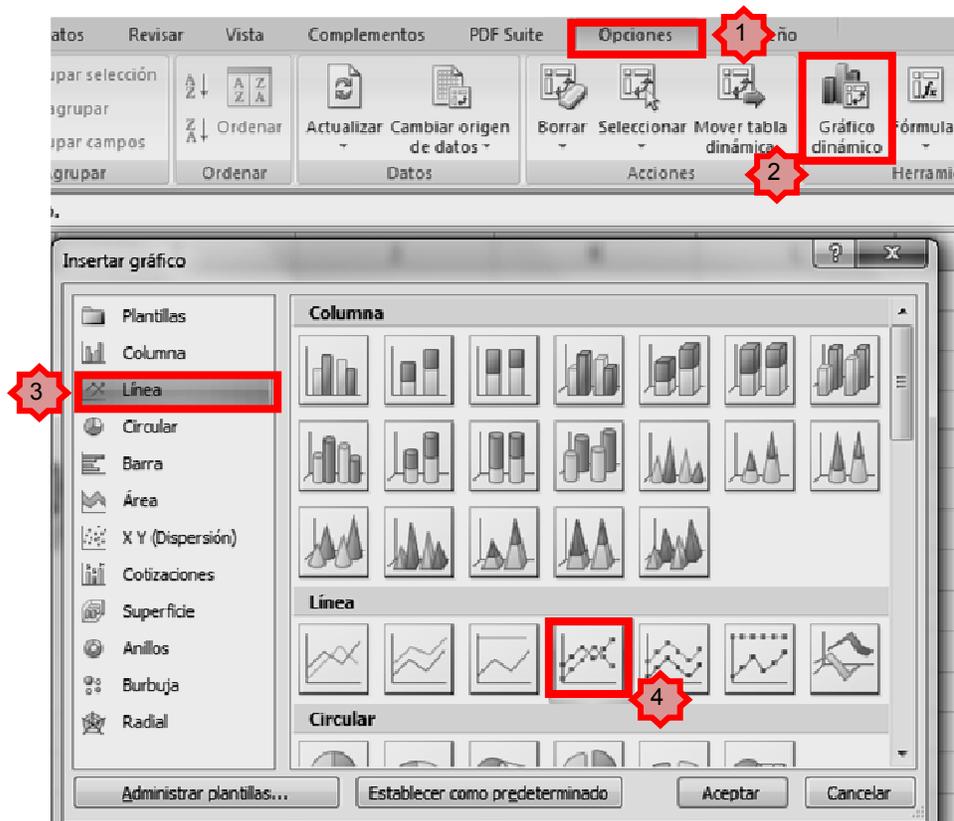
Fuente: propia

Otra de las ventajas que poseen las tablas dinámicas y que pueden ayudar a analizar el desempeño del programa de mantenimiento propuesto, a través de la variabilidad registrada en los valores de los indicadores de mantenimiento, es la opción de crear un gráfico dinámico en base a los valores contenidos en la tabla dinámica analizada.

Y es mediante la observación de dichas gráficas, que se analiza, estudia, compara y toman decisiones correspondientes al comportamiento del gráfico.

Para proceder a obtener un gráfico dinámico, de los valores contenidos en una tabla dinámica, se debe hacer clic en la pestaña Opciones, dentro de la barra de herramientas de *MS Excel*, luego clic en el ícono Gráfico dinámico y clic en el tipo de gráfico que se quiere crear (las opciones xy dispersión, burbújas y cotizaciones no se pueden llevar a cabo con tablas dinámicas), figura 63.

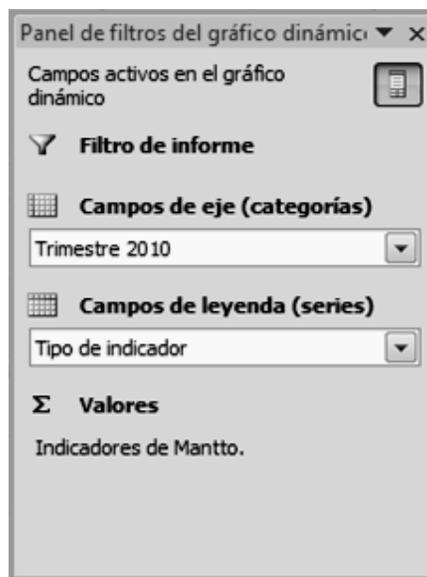
Figura 63. Procedimiento para graficar datos de tablas dinámicas



Fuente: propia

Luego de seleccionar un tipo de gráfico, aparece un cuadro de diálogo llamado panel de filtros del gráfico dinámico, figura 64, en el cual se debe especificar los datos a graficar, en otras palabras, el cuadro de diálogo brinda la opción de poder filtrar los datos de interés (remover datos de filas y/o columnas de la tabla dinámica).

Figura 64. Cuadro de diálogo, panel de filtros del gráfico dinámico



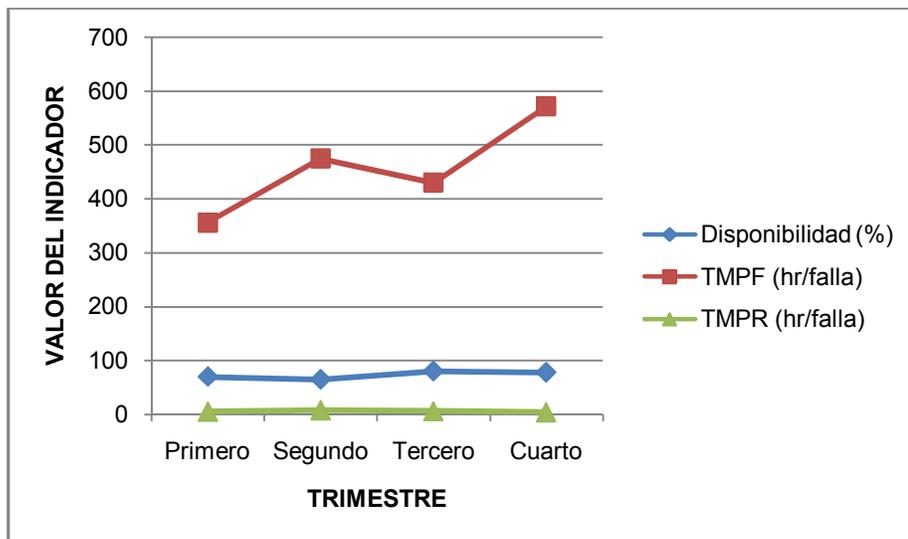
Fuente: propia

Para poder filtrar datos de las columnas, se utiliza la opción Campos de eje (categorías). Y para poder filtrar los datos de las filas se utiliza la opción Campos de leyenda (series). El proceso de filtrado es semejante a los presentados en las figuras 59 (p. 202) y 61 (p. 203).

Tras retomar el ejemplo anterior, se procede a realizar cuatro gráficos distintos en los cuales se deja observar la propiedad de filtrado que poseen los gráficos dinámicos. Figuras 65 (p. 206), 66 (p. 206), 67 (p. 207) y 68 (p. 207).

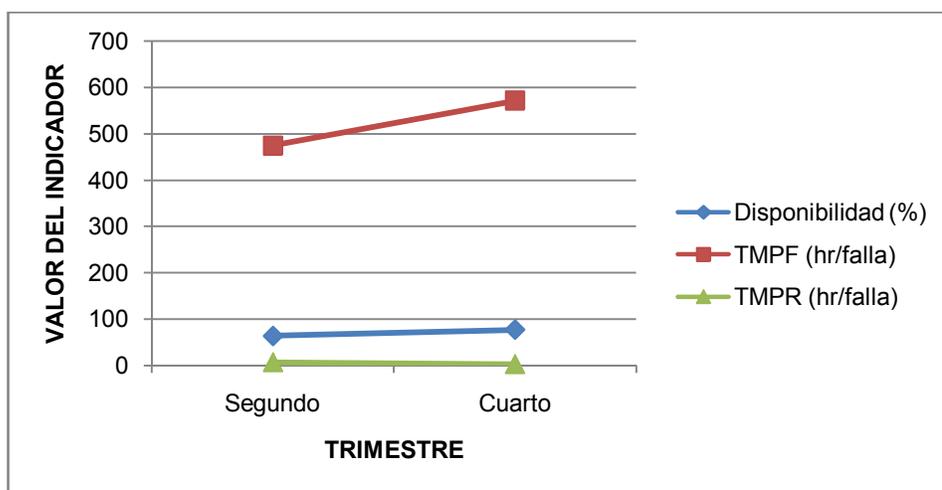
Ya que anteriormente se explicaron los pasos para realizar los gráficos dinámicos, en base a datos de tablas dinámicas, entonces, solo resta decir que para elaborar los gráficos del ejemplo se eligen los gráficos tipo línea.

Figura 65. Gráfico dinámico con datos de tabla dinámica sin filtrar



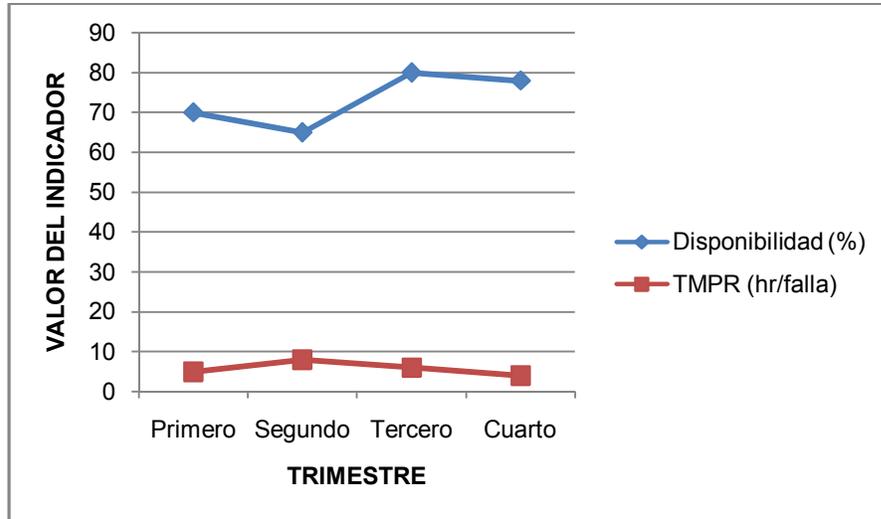
Fuente: propia

Figura 66. Gráfico dinámico con datos de trimestre, filas, filtrados



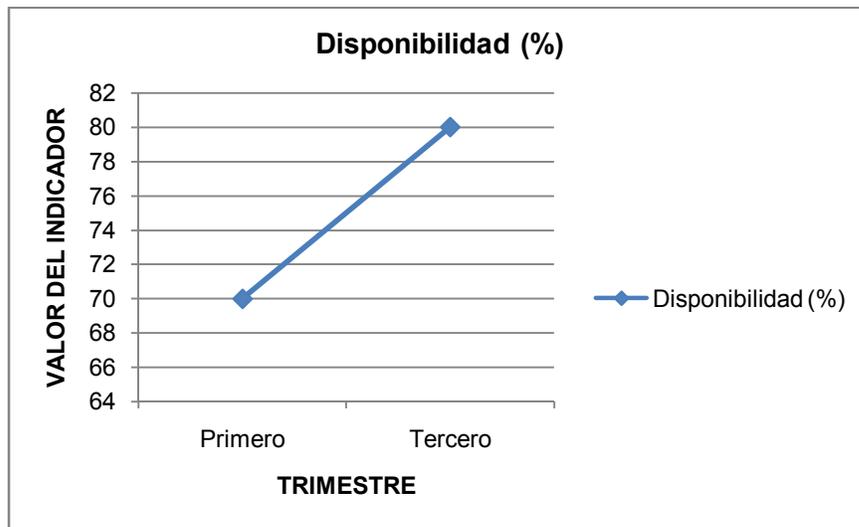
Fuente: propia

Figura 67. Gráfico dinámico con datos de indicador, columnas, filtrados



Fuente: propia

Figura 68. Gráfico dinámico con ambas filtraciones de datos, filas y columnas



Fuente: propia

CONCLUSIONES

1. Disponer de un sistema de inventario técnico de equipos eficiente se logra a través del manejo de dos modelos distintos de ficha técnica, uno para cada equipo individual, el cual debe resguardarse como parte del archivo histórico del equipo y otro general que debe incluir a todos los equipos del laboratorio.
2. Mediante el método propuesto para llevar a cabo el diagnóstico de equipos del Laboratorio de Operaciones Unitarias, se pudo establecer que actualmente no se puede llegar a aplicar correctamente dicho método, debido a que el laboratorio no cuenta con los datos históricos necesarios para el desarrollo del diagnóstico de equipos.
3. Para la detección de las causas de fallas de equipos se propone la creación de diagramas causa-efecto en los cuales se puede llegar a obtener una idea inicial o una guía en cuanto a la búsqueda y explicación de los posibles fallos que se pueden presentar en un equipo.
4. El conocer cómo manejar y a qué equipos considerar en la priorización de las actividades de mantenimiento, se establece mediante el análisis de criticidad que permite clasificar los equipos de acuerdo a los niveles de criticidad alta, mediana o baja, dichos niveles son los que pasan a formar la base para la priorización del mantenimiento de equipos.

5. Controlar administrativamente las actividades de mantenimiento es el fin de los modelos de las fichas de historial de fallas, solicitud de servicio de mantenimiento, órdenes de trabajo y demás modelos que permiten la monitorización y cumplimiento de metas y objetivos propuestos, auxiliados por la implementación, paralela, de indicadores de mantenimiento.
6. Los indicadores de mantenimiento adecuados para poder verificar y llevar un seguimiento en cuanto al desempeño de los programas de mantenimiento propuestos, son básicamente los que muestran y miden la disponibilidad de los equipos, el tiempo medio para la reparación y el tiempo medio para la falla.
7. El cálculo del costo mínimo de los recursos e insumos necesarios para la implementación del programa de mantenimiento propuesto, se debe hacer inicialmente con el objetivo de cubrir las actividades de mantenimiento preventivo, ya que éstas son las de mayor impacto en los equipos, luego, pueden volverse a calcular utilizando información capturada por los modelos de fichas de control administrativo.
8. Dentro del Laboratorio de Operaciones Unitarias, el máximo ente generador de contaminación ambiental recae en la caldera ya que ésta, puede provocar impactos negativos en aire, agua, suelo y personas, por esa razón se le debe brindar mayor atención.

9. La implementación del programa de mantenimiento propuesto se centra principalmente en la estructuración del personal de mantenimiento, cálculos de recursos e insumos necesarios y en el desarrollo de procedimientos para poder llevar a cabo, correctamente, el mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo.

10. El seguimiento y mejora del programa de mantenimiento recae mayormente en la implementación de filosofías de mejora continua, tal como el Círculo de Deming, además del control de los indicadores de mantenimiento en base a tablas y gráficos dinámicos de *MS Excel*.

RECOMENDACIONES

1. Se requiere de un mayor involucramiento en las labores de mantenimiento de equipos por parte del personal encargado de la administración del Laboratorio de Operaciones Unitarias, esto con el fin de disponer y aprovechar al máximo el rendimiento de los equipos.
2. Acercar e introducir a los estudiantes, que utilizan las instalaciones del laboratorio, dentro del rubro del mantenimiento de equipos ya que de esta manera no solamente se puede lograr que los estudiantes tengan una mentalidad de cuidado acerca de los equipos, sino también se lograría mejorar los conocimientos de los estudiantes.
3. Al momento de implementar el programa de mantenimiento propuesto, se debe procurar inculcar en todas las personas involucradas, una filosofía de mejora continua, ya que mediante ésta se pueden llegar a modificar, cambiar o incluso eliminar ciertos aspectos del programa que no aportan beneficio alguno en el cumplimiento de metas y objetivos.
4. Se debe analizar y planear la oportunidad de permitir a estudiantes de otras carreras de Ingeniería, distinta a la de Química, la participación en el proceso de cuidado, mantenimiento y/o reestructuración de los equipos del laboratorio, como parte de proyectos o prácticas respectivas atribuibles a otras carreras de la Ingeniería.

BIBLIOGRAFÍA

1. BRAVO, Roberto; BARRANTES GABIA, Ana. *Administración del mantenimiento industrial*. San José Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia, 1989. 306 p.
2. CALLONI, Juan Carlos. *Mantenimiento eléctrico y mecánico para pequeñas y medianas empresas*. Argentina: Nobuko, 2003. 208 p.
3. Concesionaria Tibitoc S.A. E.S.P. "Gestión de residuos". 4 p.
4. CUYAN CULAJAY, Luis Fernando. "Diseño del manual de mantenimiento preventivo, para la red de distribución de agua caliente, del Hospital General San Juan de Dios". Tesis de Graduación de Ingeniero Mecánico Industrial: Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala: 2006. 149 p.
5. Diatec S.A. [en línea]. 2010. [Consulta: Octubre 2010]. Disponible en Web: < <http://www.diatec-ca.com/>>.
6. Escuela de Ingeniería Química. "Programa del laboratorio de Ingeniería Química 1". Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala: 2010. 8 p.

7. FONG GONZÁLEZ, Rigoberto. "Programa de mantenimiento para la empresa Ciza, S.A.". Tesis de Graduación de Ingeniero Mecánico: Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala: 1990. 95 p.
8. Fundibeq. *Diagrama causa-efecto*. [en línea]. [Consulta: Agosto 2010]. Disponible en Web: <www.fundibeq.org>.
9. GABORIT, Luís Miguel. "Propuesta de un control de mantenimiento correctivo y preventivo para equipo industrial de la empresa avícola Villalobos, S.A.". Tesis de Graduación de Ingeniero Mecánico: Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala: 2009. 153 p.
10. GARCÍA GARRIDO, Santiago. *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Madrid España: Díaz de Santos, S.A., 2003. 307 p.
11. Gobierno de Colombia. *Contaminación ambiental causada por los residuos sólidos*. [en línea]. Colombia. [Consulta: Diciembre 2010]. Disponible en Web: <<http://www.enviaseo.gov.co/content/40/img/Contaminacion%20ambiental.pdf>>.
12. GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, Francisco Javier. *Auditoria del mantenimiento e indicadores de gestión*. España: FC, 2004. 259 p.
13. GUERRERO, Antonio. "Introducción a mantenimiento predictivo". Universidad de Sevilla. Escuela Universitaria Politécnica. España: 12 p.

14. John Deere. *Almacenando Diesel*. [en línea]. Consejos semanales. México. [Consulta: Noviembre 2010]. Disponible en Web: <http://www.deere.com/es_MX/ag/homepage/tips/almacenando_diesel.html>.
15. MENDOZA, Rosendo. “El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional”. Venezuela: 2001. 16 p.
16. Páginas Amarillas. [en línea]. Guatemala, 2010. [Consulta: Octubre 2010]. Disponible en Web: <<http://www.paginasamarillas.com/serviciodemantenimientopredictivo/Guatemala/12.aspx>>
17. PAURO, Ricardo. “Indicadores de mantenimiento: qué se debe medir y por qué”. Argentina: 2008. 4 p.
18. RAMÍREZ LÓPEZ, Juan Pablo. “Plan de mantenimiento preventivo y sus costos para calderas pirotubulares en industria de algodón, para uso clínico”. Tesis de Graduación de Ingeniero Mecánico Industrial: Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala: 2008. 143 p.
19. RIVEROS, Leonardo Montaña. “Diseño de un sistema de mantenimiento con base en análisis de criticidad y análisis de modos y efectos de falla en la planta de coque de fabricación primaria en la empresa Acerías Paz del Río S.A.”. Tesis de Graduación de Ingeniero Electromecánico: Facultad Seccional Duitama, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Colombia: 2006. 136 p.

20. SUÁREZ, Raphael. "Cálculo de la frecuencia de inspección de mantenimiento predictivo". Caracas Venezuela: 2007. 4 p.
21. Temperies. *Trabajo calidad*. [en línea]. 2010. [Consulta: Noviembre 2010]. Disponible en Web: <<http://www.temperies.com/es/workQuality.html>>.
22. WHITMAN, William. *Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado*. 3ra. Edición. España: Paraninfo, 2000. 368 p.

ANEXOS

Cotización de herramientas e insumos consumibles

FERRETERIA MULTIFER			
Fecha	01/02/11	No.	A-0000000000103
Cliente	583962-9	COTIZACION	
Nombre	INDUSTRIA AVICOLA DE MIXCO, S.A.		
Dirección	KM. 19.5 CARRETERA ROOSEVELT, ALDEA LO DE COY, ZONA 1 MIXCO.		
TEL.	24844444 / 46 / 47	FAX	

Cantidad	Producto	Precio Un.	Monto
5	CEpillo de alambre cuadrado VIKINGO	24.50	122.50
2	Cinta de aislar pequeña SUPER SCOTCH 33+10yd 3M	16.50	33.00
5	Teflon de 3/4" TOOLCRAFT	3.50	17.50
5	Waipe blanco GRANDE	11.75	58.75
15	Terminal Electrica amarilla P/bocina F-250YC	1.50	22.50
1	Tester Digital 10A 20k ohm PLUG IN	55.00	55.00
2	Brocha de 1" BYP	2.75	5.50
1	Cinzel de 3/4" X 10" PRO BONESTIL	22.50	22.50
1	Martillo de bola de 1.1/2 Lb. VIKINGO	26.50	26.50
1	Desarmador 1/4 X 4" (+) 69-145B PRO STANLEY	19.50	19.50
1	Desarmador 1/4 X 6" (-) 69-120B PRO STANLEY	24.50	24.50
1	Compresor 50lts 2.2HP Lubricado C/pist. y mang. TRUPER	1,555.00	1,555.00
1	Juego Llaves Allen de 7 pzs largas C/bola 15551 STANDAR TRUPER	42.00	42.00
1	Juego Llaves cola de corona de 6pz Americana 85-927 STANLEY	95.50	95.50
2	Cangrejo de 12" STANLEY	97.50	195.00
1	Llave Stilson de 18" VIKINGO	77.00	77.00
1	Tenacin con Forro 9" VIKINGO	19.00	19.00
1	Linterna de 4 LEDS VERDE RO1639 ROTTER	27.00	27.00
1	Navaja p/Electricista curva TRAMONTINA	47.00	47.00
1	Alicate de 7" p/Electricista 84022 STANLEY	53.00	53.00

ATT.

Fuente: Industria Avícola de Mixco, S.A, febrero 2011

