



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

“IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM), PARA EL PARQUE ACUÁTICO LOS ELENES CANTÓN GUANO”

AUTOR: CABRERA ESCOBAR RAÚL VINICIO

Trabajo de titulación, presentado ante el Instituto de Postgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de Magíster en:

GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

RIOBAMBA – ECUADOR

Agosto - 2015



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El trabajo de titulación, titulado “Implementación de un modelo de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), para el parque acuático los Elenes Cantón Guano”, de responsabilidad del Sr. Raúl Vinicio Cabrera Escobar, ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

Dr. Juan Vargas

PRESIDENTE

FIRMA

Ing. M.Sc. Jorge Freire Miranda

DIRECTOR

FIRMA

Ing. M.Sc. Aníbal Viñan Barragán

MIEMBRO

FIRMA

Ing. M.Sc. Edgar Cevallos Acosta

MIEMBRO

FIRMA

DOCUMENTALISTA SISBIB ESPOC

FIRMA

Riobamba, (Agosto-2015)

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, Raúl Vinicio Cabrera Escobar, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el presente Proyecto de Investigación, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

FIRMA
No. 060344888-7

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mis Padres: Raúl y Martha que siempre me han incentivado a seguir el camino del conocimiento y el bien, a mi hermano José y mis hermanas Verónica y Paulina que han sido las personas que me han dado fortaleza para seguir cosechando triunfos. Sobre todo a Dios.

Raúl

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a la Escuela de Ingeniería Mecánica que aportado mediante sus profesores conocimiento para que pueda cumplir con éxito esta meta.

Al Ing. Jorge Freire, Ing. Edgar Cevallos e Ing. Aníbal Viñan por su incondicional apoyo y a mi padre quien ha sido la inspiración durante mis estudios.

A mi madre por su infinito cariño.

Raúl

INDICE GENERAL

INDICE TABLAS.....	xi
INDICE FIGURAS.....	xiv
SIMBOLOGIA.....	xvi
LISTA DE ABREVIACIONES.....	xviii
INDICE ANEXOS.....	xix
RESUMEN.....	xx
SUMMARY.....	xxi
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.1.1 <i>Formulación del problema.....</i>	<i>2</i>
1.1.2 <i>Sistematización del problema.....</i>	<i>2</i>
1.2 Justificación.....	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 <i>Objetivo general.....</i>	<i>4</i>
1.3.2 <i>Objetivos específicos.....</i>	<i>4</i>
1.4 Hipótesis.....	5
CAPÍTULO II.....	6
2. MARCO DE REFERENCIA.....	6
2.1 Mantenimiento.....	6
2.2 Fundamentos de la Ingeniería de Mantenimiento.....	8
2.3 Técnicas de Mantenimiento.....	9
2.4 Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).....	10
2.5 Ventajas y desventajas del RCM.....	11
2.5.1 <i>Ventajas.....</i>	<i>11</i>

2.5.2	<i>Desventajas</i>	11
2.6	Fases de implantación del RCM	12
2.7	Relación entre disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad	18
2.8	Las reglas del RCM.	19
2.9	Análisis de fallos y sus efectos.	20
2.10	Características de los fallos.	23
CAPÍTULO III		26
3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.		26
3.1	Parque Acuático Los Elenes	26
3.2	Piscina de olas (funcionamiento y elementos sistema)	27
3.2.1	<i>Equipos y elementos que componen este sistema</i>	28
3.2.2	<i>Funcionamiento del sistema piscina de olas</i>	29
3.3	Toboganes.	34
3.3.1	<i>Equipos y elementos que componen este sistema</i>	34
3.3.2	<i>Funcionamiento del sistema toboganes</i>	36
3.4	Piscina interactiva	38
3.4.1	<i>Equipos y elementos que componen este sistema</i>	38
3.4.2	<i>Funcionamiento del sistema piscina interactiva.</i>	39
3.5	Piscina de agua temperada	40
3.5.1	<i>Equipos y elementos que componen este sistema</i>	40
3.5.2	<i>Funcionamiento del sistema piscina de agua temperada</i>	41
3.6	Baño sauna y turco.	43
3.6.1	<i>Equipos y elementos que componen este sistema</i>	43
3.6.2	<i>Funcionamiento del sistema sauna y turco.</i>	44
3.7	Descripción de los equipos que componen los diferentes sistemas.	45
3.7.1	<i>Calderas</i>	45
3.7.2	<i>Bombas</i>	47

3.7.3	<i>Motores</i>	49
3.7.4	<i>Filtros de arena</i>	51
3.7.5	<i>Compresor</i>	52
3.7.6	<i>Actuador neumático</i>	54
3.7.7	<i>Ventilador centrifugo</i>	55
3.7.8	<i>Válvulas</i>	56
3.7.9	<i>Tableros de control</i>	57
CAPÍTULO IV		59
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		59
4.2	Metodología RCM aplicada a los sistemas del parque acuático	60
4.2.1	<i>Fase 0. Lista y codificación de equipos</i>	61
4.2.2	<i>Fase 1. Listado de funciones y especificaciones</i>	63
4.2.2.1	<i>Sistema denominado "Piscinas de Olas"</i>	64
4.2.2.2	<i>Sistema denominado "Toboganes"</i>	65
4.2.2.3	<i>Sistema denominado "Piscina Interactiva"</i>	66
4.2.2.4	<i>Sistema denominado "Piscina de agua temperada"</i>	67
4.2.2.5	<i>Sistema denominado "Sauna y turco"</i>	68
4.2.3	<i>Fase 2. Determinación de los fallos funcionales y técnicos</i>	69
4.2.4	<i>Fase 3. Determinación de los modos de fallo</i>	72
4.2.5	<i>Fase 4. Estudio de las consecuencias de cada modo de fallo</i>	81
4.2.5.1	<i>Estudio de la criticidad</i>	84
4.2.5.2	<i>Frecuencia de fallas de los equipos existentes en el parque acuático</i>	86
4.2.5.3	<i>Análisis de los efectos del modo de fallo (FMEA)</i>	94
4.2.6	<i>Fase 5. Determinación de las medidas preventivas</i>	95
4.2.6.1	<i>Tareas de mantenimiento</i>	95
4.2.6.2	<i>Tareas de mantenimiento procedentes del diagrama de decisión RCM</i>	102
4.2.6.3	<i>Determinación de la frecuencia de las tareas de mantenimiento</i>	105

4.2.6.4	<i>Mejoras y modificaciones de la instalación</i>	109
4.2.6.5	<i>Formación de personal</i>	109
4.2.7	<i>Fase 6: Obtención del plan de mantenimiento y agrupación</i>	111
4.2.7.1	<i>Mantenimiento de motores</i>	112
4.2.7.2	<i>Mantenimiento de bombas centrífugas</i>	112
4.2.7.3	<i>Mantenimiento de calderos</i>	113
4.2.7.4	<i>Mantenimiento de ventiladores</i>	113
4.2.7.5	<i>Mantenimiento de compresores</i>	114
4.2.7.6	<i>Mantenimiento de válvulas</i>	114
4.2.7.7	<i>Mantenimiento de filtros de arena</i>	115
4.2.7.8	<i>Trampas de pelos</i>	115
4.2.7.9	<i>Actuadores neumáticos</i>	116
4.2.7.10	<i>Tableros de control</i>	116
4.2.8	<i>Fase 7. Puesta en marcha de las medidas preventivas</i>	116
4.2.8.1	<i>Puesta en marcha del plan de mantenimiento</i>	117
4.2.8.2	<i>Implementación de mejoras técnicas</i>	118
4.2.8.3	<i>Puesta en marcha de las acciones formativas</i>	119
4.2.8.4	<i>Puesta en marcha en procedimientos de operación y mantenimiento</i>	119
4.3	Tareas de mantenimiento de las piscinas	123
4.4	Costo de la implementación de este modelo de gestión	125
4.4.1	<i>El costo del personal</i>	125
4.4.2	<i>Costo de equipamiento</i>	126
4.4.3	<i>Costos de materiales</i>	126
4.4.4	<i>Costo del desarrollo del proyecto</i>	127
4.5	Presupuesto anual necesario para implementar modelo de gestión ...	127
4.6	Evaluación del modelo de gestión de mantenimiento RCM	128
4.7	Discusión de resultados de la estructura del modelo	129

CONCLUSIONES	131
RECOMENDACIONES	132
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-2.	Categorías de la probabilidad de ocurrencia.....	22
Tabla 2-2.	Gravedad de los fallos.	23
Tabla 3-2.	Probabilidad de detección.....	23
Tabla 4-4.	Subsistema 1. Filtración y bombeo.	64
Tabla 5-4.	Subsistema 2. Producción de olas.	65
Tabla 6-4.	Sistema de toboganes.	66
Tabla 7-4.	Piscina Interactiva.	67
Tabla 8-4.	Sistema de agua temperada.	68
Tabla 9-4.	Sistema sauna y turco.	69
Tabla 10-4.	Fallos funcionales en motores.	70
Tabla 11-4.	Fallos funcionales en bombas.....	70
Tabla 12-4.	Fallos funcionales en calderos.....	70
Tabla 13-4.	Fallos funcionales en ventiladores.....	70
Tabla 14-4.	Fallos funcionales en compresores.....	71
Tabla 15-4.	Fallos funcionales en filtros de arena.	71
Tabla 16-4.	Fallos funcionales en actuadores.....	71
Tabla 17-4.	Fallos funcionales en trampas de pelos.	71
Tabla 18-4.	Causas de los fallos funcionales en motores.	72
Tabla 19-4.	Detección de los modos de fallo en motores.....	73
Tabla 20-4.	Causa de los fallos funcionales en bombas centrifugas.....	73
Tabla 21-4.	Detección de los modos de fallo en bombas.	74
Tabla 22-4.	Causas de fallos funcionales en calderos.....	75
Tabla 23-4.	Detección de modos de fallo en calderos.	76
Tabla 24-4.	Causa de fallos funcionales en ventiladores.....	76
Tabla 25-4.	Detección de los modos de fallo en ventiladores.	77
Tabla 26-4.	Causa de fallos funcionales en el compresor.....	77
Tabla 27-4.	Detección de los modos de fallo en compresores.....	77
Tabla 28-4.	Causa de fallos funcionales en válvulas.	78
Tabla 29-4.	Detección de los modos de fallo en válvulas.....	78

Tabla 30-4.	Causa de fallos en filtros de arena.....	78
Tabla 31-4.	Detección de modos de falla en filtros de arena.....	78
Tabla 32-4.	Causa de fallos funcionales en los actuadores.....	79
Tabla 33-4.	Detección de los modos de fallo en actuadores.....	79
Tabla 34-4.	Causa de fallos funcionales en trampas de pelos.....	79
Tabla 35-4.	Detección de los modos de fallo en trampas de pelos.....	79
Tabla 36-4.	Causa de los fallos funcionales en tableros de control.....	79
Tabla 37-4.	Detección de modos de fallo en tableros de control.....	80
Tabla 38-4.	Efectos de los fallos funcionales en motores.....	81
Tabla 39-4.	Efectos de los fallos funcionales en bombas.....	81
Tabla 40-4.	Efectos de los fallos funcionales en calderos.....	82
Tabla 41-4.	Efectos de los fallos funcionales en ventiladores.....	82
Tabla 42-4.	Efecto de los fallos funcionales en compresores.....	82
Tabla 43-4.	Efecto de los fallos funcionales en válvulas.....	82
Tabla 44-4.	Efecto de los fallos funcionales en filtros de arena.....	83
Tabla 45-4.	Efecto de los fallos funcionales en actuadores.....	83
Tabla 46-4.	Efecto de los fallos funcionales en trampas de pelos.....	83
Tabla 47-4.	Efecto de los fallos funcionales en tableros de control.....	83
Tabla 48-4.	Criterios de criticidad y su cuantificación.....	85
Tabla 49-4.	Valoración de criterios para determinar la criticidad en los equipos.....	86
Tabla 50-4.	Comparación resultados de criticidad del método FMEA.....	94
Tabla 51-4.	Verificaciones recomendadas a los diferentes equipos.....	96
Tabla 52-4.	Actividades mínimas de un plan de gestión del mantenimiento.....	101
Tabla 53-4.	Ejemplo de la utilización de la tabla de actividades del plan.....	102
Tabla 54-4.	Frecuencia de las tareas de mantenimiento de motores eléctricos.....	105
Tabla 55-4.	Frecuencia de las tareas de mantenimiento de bombas centrífugas.....	105
Tabla 56-4.	Frecuencia de las tareas de mantenimiento de Calderos.....	106
Tabla 57-4.	Frecuencia de las tareas de mantenimiento de ventiladores.....	106
Tabla 58-4.	Frecuencia de las tareas de mantenimiento de compresores.....	107
Tabla 59-4.	Frecuencia de las tareas de mantenimiento de válvulas.....	107
Tabla 60-4.	Frecuencia de las tareas de mantenimiento de filtros de arena.....	107
Tabla 61-4.	Frecuencia de las tareas de mantenimiento de las trampas de pelos.....	108

Tabla 62-4.	Frecuencia de las tareas de mantenimiento actuadores neumáticos....	108
Tabla 63-4.	Frecuencia de las tareas de mantenimiento de tableros de control.....	108
Tabla 64-4.	Tratamiento del agua de las piscinas.	123
Tabla 65-4.	Solución a problemas en piscinas.....	125
Tabla 66-4.	Costo del personal.	125
Tabla 67-4.	Costos de los equipos requeridos.	126
Tabla 68-4.	Costos de implementación del modelo de gestión de mantenimiento.	127
Tabla 69-4.	Logros mínimos que se pretenden alcanzar con el modelo propuesto.	129

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-2.	Relación entre disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad.	18
Figura 2-2.	Curvas de probabilidad de ocurrencia de los fallos.	24
Figura 3-3.	Vista panorámica del parque acuático los "Elenes".....	27
Figura 4-3.	Piscina de olas se puede ver las rejillas ductos del aire presión.	27
Figura 5-3.	Filtración del agua de la cisterna y de recirculación.....	29
Figura 6-3.	Bomba y motor conectados a continuación de la trampa de pelos.	29
Figura 7-3.	Dirección del flujo de agua en funcionamiento normal del filtro.....	30
Figura 8-3.	Dirección del flujo de agua durante el retrolavado.....	31
Figura 9-3.	Tablero de control y compresor que acciona actuador.	32
Figura 10-3.	Motor acoplado al ventilador que envía aire presión la piscina.....	32
Figura 11-3.	Tableros que controlan el funcionamiento de las olas.	33
Figura 12-3.	(a) Ducto de aire a presión, (b) Compuerta y actuador.....	33
Figura 13-3.	Se puede observar la disposición de los tres toboganes.....	34
Figura 14-3.	Muestra el filtro de arena por el que tiene que pasar el agua.....	36
Figura 15-3.	Muestra las trampas de pelo, motores, bombas que elevan el agua.....	37
Figura 16-3.	Sentido del agua durante el retrolavado.....	37
Figura 17-3.	Muestra la piscina interactiva con todos sus dispositivos.....	38
Figura 18-3.	Equipos en la casa de máquinas de la piscina interactiva.	39
Figura 19-3.	Vista frontal caldero pirotubular de tres etapas que calienta el agua....	41
Figura 20-3.	Vista lateral del caldero puede apreciar el quemador diésel.....	42
Figura 21-3.	Parte posterior del caldero.	42
Figura 22-3.	Caldero para el sauna y turco.....	44
Figura 23-3.	Filtro de arena y bomba	45
Figura 24-3.	Esquema de un caldero pirotubular de tres pasos.	46
Figura 25-3.	Partes de una bomba centrífuga.	48
Figura 26-3.	Partes de un motor eléctrico.....	49
Figura 27-3.	Partes de un filtro de arena.....	52
Figura 28-3.	Partes de un compresor.	52
Figura 29-3.	Esquema de un actuador neumático.....	54
Figura 30-3.	Partes de un ventilador.....	56
Figura 31-3.	Partes de una válvula de compuerta.....	57

Figura 32-3.	Tablero de control.	58
Figura 33-4.	Diagrama metodología RCM.	61
Figura 34-4.	Diagrama funcional hidráulico de la piscina de olas.	62
Figura 35-4.	Matriz de criticidad.	84
Figura 36-4.	Criticidad de las calderas.	89
Figura 37-4.	Criticidad de las bombas.	90
Figura 38-4.	Criticidad de los motores.	90
Figura 39-4.	Criticidad de los filtros de arena.	91
Figura 40-4.	Criticidad del compresor.	91
Figura 41-4.	Criticidad del actuador neumático.	92
Figura 42-4.	Criticidad del ventilador.	92
Figura 43-4.	Criticidad de las válvulas.	93
Figura 44-4.	Criticidad de la trampa de pelos.	93
Figura 45-4.	Criticidad de los tableros de control.	94
Figura 46-4.	Diagrama de decisión RCM (parte 1).	99
Figura 47-4.	Diagrama de decisión RCM (parte 2).	100

SIMBOLOGÍA

IPR	Índice de prioridad de riesgo.
F	Frecuencia de fallo.
G	Gravedad.
D	Probabilidad de que el fallo sea detectado.

LISTA DE ABREVIACIONES.

TPM	Mantenimiento Autónomo / Mantenimiento Productivo Total.
MCO	Mejoramiento de la Confiabilidad Operacional.
RCM	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.
MBR	Mantenimiento Basado en el Riesgo.
MCC-R	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad en Reversa.
MTBF	Tiempo de Mantenimiento entre Fallos.
MTBM	Tiempo Medio entre Mantenimientos.
MTTR	Tiempo Medio de Reparación
MDT	Tiempo Medio de Inactividad
Ai	Disponibilidad inherente
Ao	Disponibilidad operacional
ACR	Análisis Causa raíz.
AC	Análisis de Criticidad.
OCR	Optimización Costo Riesgo.
IBR	Inspección Basada en Riesgo.
FBD	Diagrama de Bloques Funcionales.
FFA	Análisis de Fallos Funcionales.
AFSI	Selección Adicional de Elementos Funcionalmente Significativos.
FSII	Índice de elementos Funcionalmente Significativos.
LTA	Árbol Lógico de Decisiones.
IEM	Mantenimiento de Equipos Inactivos.
MRI	Índice de Requisitos de Mantenimiento.
MRC	Tarjeta de Requisitos de Mantenimiento.
MIP	Página de Índice de Mantenimiento.
MIPS	Páginas de Índice de Mantenimiento.
SWAB	Hoja de Autorización de Trabajos.
AF	Análisis del Árbol de Fallos
AS	Árbol de Sucesos.
AMFE	Análisis Modal de Fallos y Efectos.
PO	Piscina de Olas.
TB	Toboganes.

PI	Piscina Interactiva.
PT	Piscina de agua Temperada.
ST	Sauna y Turco.
V	Válvula.
M	Motor.
CO	Compresor.
A	Actuador neumático.
VE	Ventilador.
T	Trampa de pelos.
C	Caldero.
B	Bomba.
F	Filtro.
TC	Tablero de Control.

INDICE DE ANEXOS

- Anexo A** Evaluation Criteria For Reliability-centered Maintenance (SAE JA1011-1999).
- Anexo B** Maintainability
- Anexo C** Availability and operational readiness
- Anexo D** Formatos para la metodología RCM
- Anexo E** Reliability-Centered Maintenance Process (Norma MIL-STD-3034).
- Anexo F** Caso de estudio
- Anexo G** Costos por unidad de operación

RESUMEN

Este trabajo inició con un estudio de la realidad actual, el equipamiento disponible las condiciones de operación y mantenimiento del parque acuático los "Elenes" del cantón Guano, para poder realizar la Implementación de un modelo de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), se identificaron equipos y elementos de los diferentes sistemas, se desarrolló la codificación de los equipos, para facilitar su identificación en las órdenes de inspección y mantenimiento. Se determinaron los fallos funcionales en los diferentes equipos, sus causas, su forma de detección y sus efectos, mediante las técnicas del análisis modal de fallos y efectos (AMFE) así también de la matriz de criticidad, se determinaron la criticidad de los equipos. En base a toda la información anterior, se establecieron medidas preventivas que pueden ser: Inspecciones visuales, lubricaciones, verificaciones de un correcto funcionamiento, tareas condicionales y sistemáticas. Se establecieron frecuencias de las actividades preventivas para cada equipo.

Se realizó la programación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), considerando los recursos humanos y económicos. Se recomienda que este modelo debe ser evaluado al menos anualmente, para detectar sus fortalezas y deficiencias, que permitan su perfeccionamiento en el tiempo.

Palabras Claves: <MANTENIMIENTO CONFIABILIDAD>, <ANÁLISIS MODAL>, <FALLOS FUNCIONALES TÉCNICOS >, <CRITICIDAD EQUIPOS>, <FALLAS Y EFECTOS>, <FORTALEZAS Y DEBILIDADES>.

SUMMARY

This work began with a study of the current situation, the equipment available conditions of operation and maintenance of the aquatic park called "Los Elenes" of canton Guano, in order to make the implementation of a maintenance management model based on Reliability Centered Maintenance (RCM), equipment and elements of different systems were identified, also it was developed the coding equipment, to facilitate its identification in the inspection and maintenance orders. Failures on different equipment were determined, their causes, detection form and effects, using techniques failure modal effects analysis (FMEA) also, the criticality of equipment was specified from the criticality matrix. The preventive measures were established on the above information, which may be: visual examinations, lubrications, correct operation checking, conditional and systematic tasks. Frequency of preventive activities for each equipment were regulated.

The maintenance programming focused on reliability centered maintenance (RCM), was made, considering the human and economic resources. It is recommended that this model must be evaluated at least yearly, to detect its strengths and weaknesses, enabling its development in the time.

Key Words: <MAINTENANCE RELIABILITY>, <MODAL ANALYSIS>, < TECHNICAL FUNCTIONAL FAILURES>, <CRITICALITY EQUIPMENT>,<FAILURES AND EFFECTS>, <STRENGTHS AND WEAKNESSES>.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El turismo es una de las mayores fuentes de ingresos que tiene el país y para nuestro cantón no puede ser la excepción, por esto se ha pensado siempre en dotar al mismo de toda la infraestructura necesaria que permita obtener los mejores beneficios de esta importante actividad. Pensando este objetivo, hace aproximadamente ocho años (2007) el municipio del cantón Guano, realizó una importante inversión de Dos Millones de Dólares en el Balneario los Elenes para implementar un parque acuático con una piscina de olas artificiales, una piscina de agua temperada, sauna, baño turco, toboganes y otros juegos complementarios, que permitan brindar a los turistas que visitan nuestro cantón los servicios necesarios que conviertan su estancia en placentera.

Sin embargo, transcurridos los primeros años se empezaron a deteriorar los equipos y sistemas del mismo, por falta de una adecuada gestión de mantenimiento, en el año 2010 se contratan técnicos para un primer mantenimiento correctivo y en esta nueva administración se tuvo que realizar una nueva inversión de Trescientos mil Dólares con el fin de rehabilitar el mismo.

La rehabilitación del mismo constituye un beneficio a la colectividad del cantón y la provincia al aumentar el flujo de turistas que visitan sus instalaciones, y el cantón en general permitiendo que estos, disfruten de su deliciosa gastronomía, adquieran las artesanías elaboradas por las manos hábiles de los guaneños y conozcan la historia, cultura y costumbres de nuestro pueblo.

1.1.1 Formulación del problema.- En el País existen numerosos parques acuáticos que reciben a turistas todos los días feriados y fines de semana, sin bien es cierto brindan un servicio muy reconocido por todos, pero no existe una rentabilidad que permita costear su operación y mantenimiento. La razón de esto es que no existe un plan de mantenimiento para sus instalaciones y lo que comúnmente se aplica es un mantenimiento correctivo cuando el fallo se produce, lo que trae como consecuencia la suspensión del servicio y con ello las consecuencias y molestias que esto ocasiona.

Por otra parte, el personal que realiza estos trabajos son contratados por los administradores de estos, y no disponen de la información necesaria que permita realizar un mantenimiento sostenido en el tiempo y que luego hacer un seguimiento periódico del mismo. Se han presentado ocasiones que al poco tiempo de realizados estos trabajos, se ha producido nuevos daños, lo que significa una nueva inversión para su administración.

La idea que se tiene es implementar un grupo de trabajo en cada uno de estos parques que realicen una operación y mantenimiento planificado, de tal forma que se conserve el equipamiento y mejore la rentabilidad de estos centros de distracción. Para empezar con este trabajo se ha tomado como piloto el parque acuático “Los Elenes”, ubicado en el cantón Guano-Provincia de Chimborazo, se considera que los resultados de esta investigación podrán ser aplicados en los otros parques con alguna ligera modificación por la particularidad que tiene cada uno de ellos.

1.1.2 Sistematización del problema.- El parque acuático los “Elenes” cuenta con toboganes, piscina de agua temperada, piscina interactiva, sauna, baño turco e hidromasaje.

De la totalidad del equipamiento del parque, las calderas, bombas y motores, compresores y ventiladores son los más críticos, por cuanto un daño en uno de ellos significa dejar fuera de servicio el sistema al que pertenecen los mismos.

Como respuesta a esta problemática y a los requerimientos de confiabilidad en estos equipos, en los últimos años se ha procedido a contratar personal técnico para su mantenimiento, el trabajo por ellos desarrollado se reduce a un mantenimiento correctivo en el momento en el que se produce el daño, lo que significa por un lado el pago de sus honorarios y la inversión imprevista en repuestos e insumos para llevar adelante esta actividad.

Frente a esta situación, se plantea el desarrollo de un plan de gestión de mantenimiento basado en la confiabilidad RCM, para todo el equipamiento del parque acuático los “Elenes”. De esta manera se pretende lograr que en este parque mejore la disponibilidad y confiabilidad, se disminuya los costos de mantenimiento, se mejore los procesos de inspección, reparación y reemplazo de equipamiento y se reduzca el número de días fuera de servicio por daños en sus equipos.

Si bien es cierto, al inicio implica una inversión importante en personal, equipos de control, accesorios, repuestos e insumos, pero en el tercer año se podrán visualizar los beneficios de este plan de gestión de mantenimiento.

1.2 Justificación

1.2.1 *Justificación Técnico-Económica.*

Actualmente en el parque acuático los “Elenes”, se maneja un programa de mantenimiento correctivo que no ha sido capaz de asegurar la confiabilidad de los equipos involucrados en la línea crítica, debido a la falta de un mantenimiento planificado oportuno.

El deterioro prematuro de las instalaciones del parque acuático los Elenes y sus consecuentes pérdidas económicas han sido el sustento para proponer este proyecto, que de llevarse a cabo permitirá establecer las estrategias que se deben aplicar mediante la

planificación, el control y la supervisión del mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM).

Este modelo permitirá mejorar su conservación con un funcionamiento óptimo, mejorando su rentabilidad en el tiempo, al tener operativo el balneario reduciendo los tiempos de parada por fallos inesperados en sus bombas y calderos de los diferentes sistemas por falta de una adecuada gestión del mantenimiento.

Por otra parte, se estará dando un aporte importante a la conservación de instalaciones similares que existen a lo largo y ancho de nuestro territorio nacional, al contar con un modelo adecuado de Gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), para los diferentes equipos y sistemas de los mismos. Para dar solución definitiva a esta problemática, se vuelve imprescindible establecer un modelo de gestión de mantenimiento.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo general. Implementar un modelo de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), para el parque acuático los Elenes del cantón Guano.

1.3.2 Objetivos específicos:

Analizar la situación actual, identificando los equipos y sistemas que componen el parque acuático.

Realizar la jerarquización de los equipos.

Inspeccionar técnica y visualmente todos los equipos clasificados como críticos para las instalaciones (Análisis Causa Raíz).

Diseñar los planes de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

Realizar la programación del mantenimiento (RCM) optimizando recursos humanos y económicos.

Determinar un modelo de gestión de mantenimiento (RCM) específico para este parque acuático.

1.4 Hipótesis.

El mantenimiento es el conjunto de operaciones destinadas a la conservación de equipos o instalaciones mediante realización de revisión periódica (mantenimiento preventivo) y reparación (mantenimiento correctivo) que garanticen su buen funcionamiento y fiabilidad. Por tanto, se parte de la hipótesis que el deterioro acelerado del parque acuático se debió a la falta de una adecuada gestión de mantenimiento, que no permitió su conservación en el tiempo.

Una adecuada gestión del mantenimiento, teniendo en cuenta el ciclo de vida de cada activo físico, debe cumplir con los objetivos de reducir los costos globales de la actividad productiva, asegurar el buen funcionamiento de los equipos y sus funciones, disminuir al máximo los riesgos para las personas y los efectos negativos sobre el medio ambiente, generando, además, procesos y actividades que soporten los objetivos mencionados. Se hace mantenimiento porque es un hecho seguro que los elementos y equipos, se deterioran con el tiempo, y por lo tanto se tiene que tomar las medidas necesarias para restaurarlos o mantener la fiabilidad original. Esta afirmación se sustenta en tres hipótesis:

- La fiabilidad de funcionamiento de un elemento se deteriora con el tiempo. El mantenimiento es la forma de controlar el deterioro por la edad. No hay mejor razón para invertir recursos en mantenimiento que para conservar operativos y seguros elementos y equipos.
- El mantenimiento puede restaurar y mantener original la fiabilidad.
- El mantenimiento se paga por sí mismo, es decir, los beneficios que brinda el mantenimiento supera su costo.

CAPÍTULO II

2. MARCO DE REFERENCIA.

2.1 Mantenimiento.

Mantenimiento es el conjunto de acciones para asegurar que los sistemas, equipos y componentes proporcionan sus funciones previstas cuando son requeridos. Una falla funcional es una condición insatisfactoria en la que las funciones no se realizan adecuadamente.

Dentro de los límites de esa definición, sólo hay tres opciones abiertas al gerente de mantenimiento para hacer frente a esas condiciones.

Mantenimiento correctivo.- restaura funciones fallidas mediante la realización de la reparación o sustitución.

Mantenimiento preventivo.- minimiza la posibilidad de que fallen las funciones a través del uso de las pruebas, inspecciones, ajustes, sustituciones, y acciones rutinarias, como la lubricación.

Mantenimiento Alterativo.- elimina condiciones insatisfactorias al eliminar la causa de las funciones fallidas mediante el rediseño.

Los Tres tipos de mantenimiento se componen de diferentes tipos de tareas:

- Tareas de mantenimiento correctivo incluyen la resolución de problemas, la alineación, la restauración, el reemplazo o calibración de los componentes, subconjuntos, equipos o sistemas.

- Tareas de mantenimiento preventivo incluyen las pruebas de diagnóstico o inspecciones (por tanto funciones evidentes y ocultas), restauración o sustitución de elementos, independientemente de la condición actual, sustitución de consumibles operativos, y engrase o lubricación de componentes.

- Tareas de mantenimiento Alterativo implican mejoras en el diseño original del elemento o rediseño completo del elemento. Si el elemento no puede ser rediseñado para lograr una mayor fiabilidad, tal vez un rediseño sería, al menos lo recomendado, esto permitiría una tarea de mantenimiento preventivo adecuado.

En conclusión, mantenimiento son todas las actividades que deben ser desarrolladas en orden lógico, con el propósito de conservar en condiciones de operación segura, efectiva y económica, los equipos de producción, herramientas y demás activos físicos, de las diferentes instalaciones de una empresa.

A medida que transcurre el desarrollo tecnológico las instalaciones se vuelven cada vez más complejas y automatizadas, con grandes cadenas de producción, cuya paralización representa grandes pérdidas económicas.

La importancia del mantenimiento se deriva por tanto de la necesidad de contar con una estructura que permita restablecer rápidamente las condiciones de operación ideal, para reducir al mínimo las pérdidas de producción.

En términos económicos un eficiente mantenimiento significa:

- La protección y conservación de las inversiones.
- La garantía de productividad.
- La seguridad de un servicio.

El postulado que se debe cumplir es:" Conservar en condiciones deseadas de operación (condiciones confiables) los componentes del sistema productivo, con el mejor rendimiento posible y con costos compatibles".

Para conseguir este propósito, todo el plan que busque el mejoramiento de la funciones del mantenimiento debe contener:

- Objetivos claros
- Aplicación de fundamentos administrativos
- Sistemas de planeación y control
- Programas de mantenimiento concreto y efectivo
- Adecuado suministro de materiales y repuestos
- Apropiado control de costos y presupuestos, y
- Un sistema informativo sencillo y objetivo.

La confiabilidad se define como una serie de procesos de mejora continua, que incorpora en forma sistémica, avanzadas herramientas de diagnóstico, estrategias modernas y metodologías de análisis, para optimizar la gestión, planeación, ejecución y control de la producción industrial.

La confiabilidad en mantenimiento se entiende como la probabilidad de que un sistema, sobreviva sin fallas durante un determinado período de tiempo, bajo unas condiciones de operación específicas.

2.2 Fundamentos de la Ingeniería de Mantenimiento.

La ingeniería de mantenimiento se fundamenta en conceptos que rigen el desarrollo, aplicación, ejecución y mejora continua de los programas de mantenimiento. Estos conceptos fundamentales son:

- Las fallas ocurren.
- No todas las fallas tienen la misma probabilidad de ocurrencia.
- No todas las fallas tienen las mismas consecuencias.
- El desgaste de componentes simples, dañan los sistemas complejos.
- Un buen mantenimiento proporciona la funcionalidad requerida por el costo más bajo posible.

- Mantenimiento sólo puede alcanzar la confiabilidad diseño inherente.
- Funciones Ocultas requieren un tratamiento especial.
- Mantenimiento innecesario toma recursos de mantenimiento necesario.
- Los programas adecuados de mantenimiento experimentan una mejora continua.

Estos conceptos son los principios que rigen el mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM.

2.3 Técnicas de Mantenimiento.

Hoy en día existen infinidad de diferentes herramientas, técnicas, metodologías y filosofías de mantenimiento. Algunas de las más utilizadas entre otras pueden ser:

- Mantenimiento Autónomo / Mantenimiento Productivo Total (TPM).
- Mejoramiento de la Confiabilidad Operacional (MCO).
- Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)// (MCC).
- Mantenimiento Basado en el Riesgo (MBR).
- Asset Integrity.
- Mantenimiento Centrado en Confiabilidad en Reversa (MCC-R).
- Análisis Causa raíz (ACR).
- Análisis de Criticidad (AC).
- Optimización Costo Riesgo (OCR).
- Inspección Basada en Riesgo (RBI) (IBR).

En efecto los métodos para mejorar la confiabilidad se podrían dividir en dos:

- **Métodos Proactivos:** Buscan la mejora de la confiabilidad mediante la utilización de técnicas que permitan la paulatina eliminación de las fallas tanto crónicas como potenciales. Claros ejemplos son el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad y el Mantenimiento Productivo Total.

- **Métodos Reactivos:** Buscan de una manera rápida y eficaz la solución de problemas cotidianos y evitar repetición de eventos mayores. En líneas generales se trata de métodos sobre todo "post-mortem". Actualmente su mejor exponente es el Análisis Causa Raíz.

2.4 Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) es una filosofía de gestión de mantenimiento, en la cual un equipo de trabajo multidisciplinario, se encarga de optimizar la Confiabilidad Operacional de un sistema productivo, que funciona bajo condiciones de operación definidas, estableciendo las actividades más efectivas en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, considerando los posibles efectos que originan los modos de fallas de estos activos, en la seguridad, el ambiente y las funciones operacionales.

El RCM (Reliability Centered Maintenance) es una metodología diseñada por la aviación militar en la USA. Su fin último es ayudar al personal de mantenimiento, a definir la mejor práctica para garantizar la confiabilidad de la función de los activos fijos, y para manejar los efectos de sus fallas.

El RCM permite determinar cuáles son las operaciones que debemos hacer para que un equipo o sistema continúe desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional, siempre y cuando ellas sean rentables para la empresa. Para ello se debe tener muy claras y analizadas las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son las funciones del equipo o del sistema?
- ¿De qué forma puede falla?
- ¿Qué puede causar que falle?
- ¿Qué sucede realmente cuando falla?
- ¿Qué ocurre si se produce el fallo y qué repercusiones o consecuencias reales tiene?
- ¿Qué se puede hacer para prevenir los fallos?
- ¿Es rentable prevenir dichos fallos?

- ¿Qué se puede hacer si no se puede prevenir el fallo?

En conclusión, el RCM es una manera sistemática de evaluar equipos y sistemas, sus funciones, modos de fallos con sus efectos, así como las consecuencias de estos. La idea es seleccionar tácticas de mantenimiento para minimizar las consecuencias de los fallos y aplicar las mismas como parte de la gestión de mantenimiento. (CMMI., 2015. RCM)

2.5 Ventajas y desventajas del RCM.

No existe una metodología perfecta para ninguna actividad productiva u operativa, siempre se van a encontrar ventajas y desventajas, es por esto que a continuación se pasa a identificar las mismas.

2.5.1 Ventajas:

- La mejora de la seguridad.
- La mejora del impacto ambiental.
- El aumento de la producción.
- El aumento de la fiabilidad de la instalación.
- La disminución de los costos de mantenimiento
- El aumento en el conocimiento de la instalación.
- La disminución de la dependencia de los fabricantes.

2.5.2 Desventajas:

- Es un método muy basado en la experiencia de los participantes, por lo que se pueden presentar serios problemas para llevarlo a cabo internamente con equipos y sistemas nuevos.

- El éxito del proceso depende de capacidad de liderazgo del guía y de la predisposición al cambio y motivación de los participantes, por lo que es básico analizar previamente la situación sociolaboral, el momento, etc.

- Es un proceso arduo y lento, por lo que la estrategia de implementación debe ser cuidadosa para no desmotivar a los participantes.

- El conocimiento de nuevas tecnologías (sobre todo predictivas) es importante, pues, en su defecto, el grupo de trabajo cae con gran facilidad en volver a definir un nuevo Plan sólo preventivo sistemático.

Tabla 1-2. Comparación entre las acciones de mantenimiento tradicional y el RCM.

ACCIONES MANTENIMIENTO TRADICIONAL	ACCIONES CON RCM
Mantenimiento para conservar los equipos en buen estado	Mantenimiento para conservar las funciones de los activos físicos
Mantenimiento rutinario para prevenir la falla	Mantenimiento rutinario para evitar, reducir o eliminar las consecuencias.
El objetivo del mantenimiento era optimizar la disponibilidad de la planta a un costo fijo	Su objetivo no es solo optimizar la disponibilidad de la planta, sino también en aumentar la seguridad, la integridad ambiental, la calidad de los productos y el servicio al cliente
La mayoría de los equipos tienden a fallar a medida que envejecen	Se presentan modelos de fallas de los equipos determinados por curvas de probabilidad de falla contra vida útil.
Los tres tipos de mantenimiento convencional son: predictivo, preventivo y correctivo	Con la nueva estrategia de mantenimiento se adiciona el tipo detectivo

Fuente:http://repository.upb.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/661/1/digital_18399.pdf

2.6 Fases de implantación del RCM.

El objetivo fundamental de la implantación de un mantenimiento Centrado en fiabilidad (RCM) en una planta es aumentar la disponibilidad y disminuir costos de mantenimiento.

La Norma **SAE JA1011** de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), está prevista a ser utilizada por cualquier organización que tiene o hace uso de los activos físicos o sistemas que desea administrar de manera confiable.

Pero por disponer de mayor información, se trabajará bajo la norma **MIL STD-3034**, que recomienda los documentos aplicables para el mantenimiento, da las definiciones que se deben conocer acerca de los términos más utilizados sobre fallos, funciones y mantenimiento.

Los requerimientos generales y los detalles de los requerimientos para el proceso RCM (**Anexo E**).

Según esta norma, el proceso de desarrollo RCM consta de doce fases:

Fase 1.- Partición del sistema y diagrama de bloques funcionales (FBD). La partición a lo largo del sistema principal y en los límites del subsistema para facilitar el análisis y especificar el análisis de los límites (alcance) y enfoque (véase Anexo 5.1.1).

Fase 2.- Análisis de fallos funcionales (FFA). Identificar las funciones de los sistemas y subsistemas, y de las formas en que estas funciones pueden fallar (véase Anexo 5.1.2).

Fase 3.- Selección adicional de elementos funcionalmente significativos (AFSI). Selección adicional de los elementos funcionalmente significativos (AFSIS) (véase Anexo 5.1.3).

Fase 4.- Análisis de los modos de fallo y efectos (AMFE). Determinar fallos dominantes. Identificar los efectos (consecuencias) de los fallos. (Ver Anexo 5.1.4)

Fase 5.- Análisis del árbol lógico de decisiones (LTA). Identificar necesidad de tareas de mantenimiento. Determinar si o no las tareas propuestas son aplicables y efectivas. (véase Anexo 5.1.5).

Fase 6.- Análisis de servicios y lubricación. Análisis de las tareas de mantenimiento y de lubricación requeridas (véase Anexo 5.1.6).

Fase 7.- Mantenimiento de equipos inactivos (IEM). Listar todas las tareas de mantenimiento propuestas para su revisión y aprobación (véase Anexo 5.1.7).

Fase 8.- Identificación de tareas de mantenimiento correctivo. Desarrollar el método más práctico de llevar a cabo cada tarea (ver Anexo 5.1.8).

Fase 9.- Índice de los requisitos de mantenimiento (MRI). Determinar el nivel de mantenimiento apropiado (O, I o D) (véase Anexo 5.1.9).

Fase 10.- Definición de requisitos de las tareas de mantenimiento. Desarrollar procedimientos para desmontar, preservar, reactivar y prueba de equipos inactivos. (ver Anexo 5.1.10).

Fase 11.- Validación de procedimientos de mantenimiento. Desarrollar procedimientos para el retorno de sistemas / equipos al servicio (ver Anexo 5.1.11).

Fase 12.- Tarjeta de requisitos de mantenimiento (MRC) y la página de índice de mantenimiento (MIP). Desarrollo y preparación de MRC y formulación en MIPS (ver Anexo 5.1.12).

Significado de algunas siglas utilizadas en la norma MIL STD-3034:

FBD - Diagrama de bloques funcionales.

FFA - Análisis de fallos funcionales.

AFSI - Selección adicional de elementos funcionalmente significativos.

FSII - Índice de elementos funcionalmente significativos.

LTA - Árbol lógico de decisiones.

IEM - Mantenimiento de equipos inactivos.

MRI - Índice de requisitos de mantenimiento.

MRC- Tarjeta de requisitos de mantenimiento.

MIP - Página de índice de mantenimiento.

MIPS- Páginas de índice de mantenimiento.

SWAB- Hoja de autorización de trabajos.

Tabla 2-2. Desarrollo del sistema de mantenimiento programado según la norma MIL-P-24534A

Fase	Descripción	Propósito	Párrafo Norma MIL-P	OPNAV Forma 4790/
1	Particiones: Diagramas funcionales de bloques e índice maestro de Sistemas y subsistemas (IMSS)	Determinar límites, interfaces y funciones de los sistemas	3.7.2	114
2	Análisis de fallas funcionales (FFA)	Describir sistemas/subsistemas, funciones e interfaces. Identificar fallas activas y pasivas	3.7.3	116
3	Selección de elementos significativos adicionalmente funcionales e índice de los elementos funcionalmente significativos (FSII)	Identificar funciones y fallas funcionales a nivel de sistemas y subsistemas. Lista de todos los FSIS en orden SWAB	3.7.4	117 y 118
4	Análisis de los modos de falla y sus efectos	Determinar fallos dominantes. Identificar los efectos (consecuencias) de los fallos.	3.7.5	119
5	Análisis del árbol de decisiones lógicas del RCM	Identificar necesidad de tareas de mantenimiento. Determinar si o no las tareas propuestas son aplicables y efectivas.	3.7.6	120
6	Análisis de mantenimiento y lubricación	Use en lugar de la Etapa 5 para evaluar los requisitos de mantenimiento de rutina y lubricación.	3.7.7	121
7	Auditoría y preparación de los Requisitos de Mantenimiento: Índice de Requisitos de Mantenimiento (MRI)	Liste todas las tareas de mantenimiento propuestas para su revisión y aprobación.	3.7.9	123
8	Estudio Método y procedimiento Evaluación de Nuevas Tareas y mantenimiento Revisado Tarjetas Requisito (MRC)	Desarrollar el método más práctico de llevar a cabo cada tarea	3.7.10 y 3.10	130
9	Requisitos de Mantenimiento Definición de tareas	Determinar el nivel de mantenimiento apropiado (O, I o D)	3.7.11	124
10	Mantenimiento de equipo inactivo (IEM)	Desarrollar procedimientos para desmontar, preservar, reactivar y prueba de equipos inactivos.	3.7.12 y 3.10	129
11	Documentación de Mantenimiento no programado	Desarrollar procedimientos para el retorno de sistemas / equipos de servicio luego del mantenimiento correctivo.	3.7.13 y 3.9	NA
12	Desarrollo y preparación de páginas de índices de mantenimiento (MIP) y tarjetas de requisitos de mantenimiento (MRC)	Preparación de MIPs y MRCs	3.7.14 3.11 y 3.12	85

Fuente: United States Navy Sea Systems Command (2007). Reliability-Centered Maintenance (RCM)

En la tabla 2, se hace hincapié en los aspectos de análisis del proceso RCM. Más detalles de la forma de desarrollo se conocen en los párrafos pertinentes de la norma MIL-P-24534A.

Para el caso del parque acuático, por ser menos crítico que el aeronáutico, y según la empresa RENOVETEC, el procedimiento se ha reducido a siete fases, las mismas que se deben ir completando para cada uno de los sistemas que componen una planta:

Fase 0: Codificación y listado. De todos los subsistemas, equipos y elementos que componen el sistema que se está estudiando. Recopilación de esquemas, diagramas funcionales, diagramas lógicos, etc.

Fase 1: Estudio detallado del funcionamiento del sistema. Listado de funciones del sistema en su conjunto. Listado de funciones de cada subsistema y de cada equipo significativo integrado en cada subsistema.

Fase 2: Determinación de los fallos funcionales y fallos técnicos. Una falla es la incapacidad de un elemento para cumplir alguna de sus funciones.

Las fallas funcionales son aquellas que impiden al sistema en su conjunto cumplir con su función principal. Naturalmente son las más importantes.

Las fallas también pueden ser evidentes y ocultas. Evidentes las que se ven y ocultas las que no son detectadas hasta que se produce el fallo y traen más consecuencias.

Una falla técnica es aquella que no impide al sistema cumplir con su función, pero supone un funcionamiento anormal, lo que produce una degradación acelerada del equipo y acaba convirtiéndose en falla funcional del sistema.

Fase 3: Determinación de los modos de fallo. Causas de cada uno de los fallos encontrados en la fase anterior.

Fase 4: Estudio de las consecuencias de cada modo de fallo. Clasificación de los fallos en críticos, importantes o tolerables en función de esas consecuencias.

Fase 5: Determinación de medidas preventivas. Que eviten o atenúen los efectos de los fallos.

Fase 6: Agrupación de las medidas preventivas en sus diferentes categorías. Elaboración del Plan de Mantenimiento, lista de mejoras, planes de formación y procedimientos de operación y de mantenimiento.

Fase 7: Puesta en marcha de las medidas preventivas. Como el tema llega solamente al desarrollo del modelo de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), no se llega a la puesta en marcha de las medidas preventivas.

2.7 Relación entre disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad.

Los parámetros estadísticos de mantenimiento son: la confiabilidad, la mantenibilidad y la disponibilidad. Estos se relaciona con el comportamiento del equipo de la siguiente forma: la confiabilidad se obtiene en base a los equipos de operación, la mantenibilidad se calcula con los tiempos fuera de servicio del sistema y la disponibilidad es un parámetro que se estima a partir de los dos anteriores, tal como se muestra en el siguiente gráfico: (Monografías (2014). Estadística básica aplicada al mantenimiento - Unidad III)

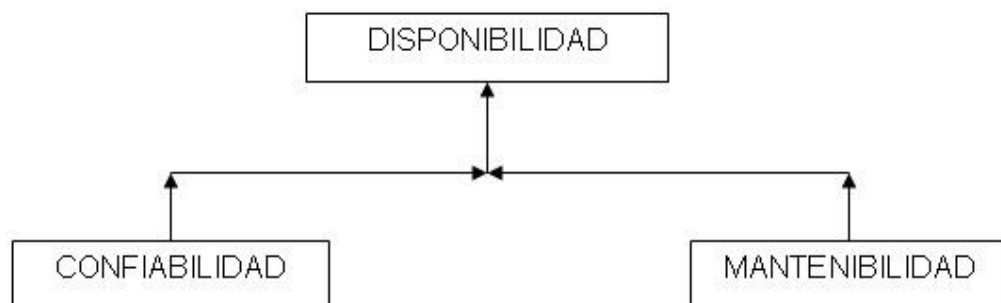


Figura 1-2. Relación entre disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad.

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos62/estadistica-aplicada-mantenimiento/estadistica-aplicada>

Disponibilidad. Es la confianza que se tiene de que un componente, equipo o sistema que sufrió mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente en un tiempo dado. Se expresa como porcentaje de tiempo en el que el sistema está listo para operar o producir.

Confiabilidad. Es la confianza que se tiene de que un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica durante un periodo de tiempo preestablecido bajo condiciones de operación adecuadas.

Mantenibilidad. Es la expectativa que se tiene de un equipo o sistema pueda ser colocado en condiciones de operación dentro de un periodo de tiempo preestablecido.

El mantenimiento tiene como propósito maximizar la disponibilidad de una máquina, elemento o sistema, lo cual implica un aumento de la rentabilidad. La rentabilidad es la relación entre el beneficio obtenido y la inversión efectuada.

En el caso del parque acuático, lo deseable es que con una buena gestión de mantenimiento, se consiga mantener el funcionamiento todo el equipamiento que componen sus instalaciones. Esto traerá como consecuencia un aumento en la rentabilidad, o en todo caso, que se logre autofinanciar su conservación en el tiempo y que el GAD de Guano, no tenga que realizar una nueva inyección de capital en el futuro.

2.8 Las reglas del RCM.

Existen tres reglas para determinar la aplicabilidad o relevancia de las tareas de mantenimiento y de búsqueda de fallos:

- Las características de los equipos corresponden a un tipo concreto de fallo, que puede ser identificado.
- Estas características se pueden determinar con precisión y consistencia.
- Existe tiempo suficiente entre la identificación del fallo y su ocurrencia, para tomar las medidas correctivas que eviten el fallo.

La determinación de si una tarea de mantenimiento es eficaz o no, requiere el examen de las consecuencias de los fallos, porque no todos los fallos tienen las mismas consecuencias:

- Algunos fallos pueden causar lesiones o la muerte. Las tareas que eviten este tipo de fallos tienen un gran valor.
- Algunos fallos pueden violar regulaciones locales o estatales, como las relacionadas con la protección del medio ambiente. Las tareas que impiden estos fallos tienen un gran valor.
- Otros fallos pueden perjudicar considerablemente la capacidad de operación de equipos y elementos. Las tareas que eviten fallos que causan la pérdida de esta capacidad son muy valiosas.
- Todos los demás fallos se evalúan sobre la base de la economía.

2.9 Análisis de fallos y sus efectos.

El objetivo del análisis de riesgos es aumentar tanto la seguridad como el servicio y rendimiento de un sistema, disminuyendo la frecuencia de los accidentes y aumentando la disponibilidad del sistema. (Mulet E., 2011, p.32)

El análisis de riesgos se aplica tanto en el diseño de una nueva instalación o producto como a cualquier modificación de estos y a su construcción o reparación. Existen varios métodos para este propósito como: HAZOP, AMFE, análisis del árbol de fallos (AF) y el árbol de sucesos (AS).

De todos estos métodos, se ha escogido el AMFE por su facilidad de aplicación. El análisis modal de fallos y efectos (AMFE) es una herramienta de análisis sistemático y de detalle de todos los modos de fallo de los componentes de un sistema, que identifica su efecto sobre el mismo.

Procedimiento para realizar el análisis modal de fallos y efectos (AMFE), sigue las siguientes etapas:

- Descripción de la instalación. Consiste en analizar los componentes de la instalación y su funcionamiento.
- Definición del objetivo y alcances. Se describe los elementos que forman parte del análisis y cuál es el objetivo del mismo, y se identifican los posibles riesgos.
- Determinación de funciones. Consiste en describir brevemente la función de cada equipo o elemento que se está analizando.
- Determinación de modos de fallo de cada función. Se identifican los posibles modos de fallo de cada equipo o elemento.
- Determinación de causas para cada modo de fallo. Se identifican las posibles causas que producen cada modo de fallo.
- Determinación de las formas de detección. Se describen las formas de detección de cada modo de fallo.
- Determinación de los efectos sobre otros componentes y sobre el sistema. Se identifican los efectos que tienen los fallos sobre otros componentes cercanos y sobre el sistema al que pertenecen.
- Estimación de la frecuencia de fallo, la gravedad y la probabilidad de que el fallo sea detectado. Según las condiciones de trabajo se asume la frecuencia de fallo F, la gravedad G y la probabilidad de que el fallo sea detectado D. Para esto se utilizan las tablas 3, 4 y 5.
- Cálculo del índice de prioridad de riesgo (IPR) para cada modo de fallo y causa.

$$IPR = F \times G \times D \quad (1)$$

- Identificación de los modos de fallos más críticos y propuesta de medidas correctoras

De la tabla 3, se obtiene el coeficiente de frecuencia de fallo F, según su probabilidad de ocurrencia.

Tabla 1-2. Categorías de la probabilidad de ocurrencia.

<i>Criterio</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>F</i>
Probabilidad de ocurrencia. Sería irrazonable que se produjera el fallo	0 – 0,005 %	1
Probabilidad de fallo bajo. Generalmente asociado con diseños parecidos, para las mismas condiciones de utilización, con un número relativamente bajo de fallos.	0,005 – 0,01 %	2
Promedio de fallo bajo. Generalmente asociado con diseños parecidos a otros previos usados en entornos diferentes, con un número relativamente bajo de fallos.	0,01 – 0,05 %	3
Promedio de fallo moderado. Generalmente asociado con diseños parecidos a otros previos que han experimentado fallos esporádicos en condiciones de utilización ligeramente diferentes.	0,05 – 0,1 %	4
Promedio de falla moderado. Generalmente asociado con diseños parecidos a otros previos que han experimentado fallos más frecuentes, que necesitan atenciones particulares.	0,1 – 0,5 %	5
Promedio de fallo moderado. Generalmente asociado a productos sin diseños parecidos previos y sin probabilidades de fallo medidas	0,5 – 1 %	6
Promedio de fallo alto. Asociado con fallos de productos parecidos que han causado problemas de diseño en el pasado.	1 – 5 %	7
Promedio de fallo alto. Asociado con diseños parecidos previos parecidos, con problemas de fabricación.	5 – 10 %	8
Promedio de fallo muy alto. Generalmente asociado con productos previos parecidos, con problemas de diseño de fabricación.	10 – 50 %	9
Promedio de fallo sumamente alto. Los fallos ocurrirán casi con certeza	>50 %	10

Fuente: Elena Mulet Escrig y otros (2011). Problemas resueltos de análisis de riesgos. Método AMFE (32). Universitat Jaume.

La evaluación de la criticidad proporciona los medios para cuantificar la importancia de la función de un sistema. La tabla 4, proporciona un método para la clasificación de la criticidad del sistema G. Este sistema, fue adaptado de la industria automotriz, ofrece 10 categorías de Criticidad / Gravedad.

Tabla 2-2. Gravedad de los fallos.

Criterio	Gravedad (G)
Imperceptible por el cliente	1
Perceptible pero no molesto	2
Perceptible y ligeramente molesto	3
Predispone negativamente al cliente	4
Degradación del sistema	5
Degradación del sistema y exigencia de cambio/reparación	6
Degradación del sistema y reparación costosa	7
Degradación del sistema, que llega a afectar a otros sistemas de la instalación	8
Afecta a la seguridad, con aviso previo	9
Afecta a la seguridad, sin aviso previo	10

Fuente: Elena Mulet Escrig y otros (2011). Problemas resueltos de análisis de riesgos en instalaciones industriales.

De la tabla 5, se obtiene la probabilidad de que el fallo sea detectado D.

Tabla 3-2. Probabilidad de detección.

Criterio	Probabilidad de que el defecto individual llegue al cliente	D
Probabilidad remota de que el defecto llegue al cliente.	0 – 5 %	1
Probabilidad baja de que el defecto llegue al cliente	6 – 15 %	2
	16 – 25 %	3
Probabilidad moderada de que el defecto llegue al cliente	26 – 35 %	4
	36 – 45 %	5
	46 – 55 %	6
Probabilidad alta de que el defecto llegue al cliente	56 – 65 %	7
	66 – 75 %	8
Probabilidad muy elevada de que el defecto llegue al cliente	76 – 85 %	9
	86 – 100 %	10

Fuente: Elena Mulet Escrig y otros (2011). Problemas resueltos de análisis de riesgos en instalaciones industriales.

Con los coeficientes obtenidos de las tablas 3, 4 y 5, mediante la ecuación 1, se obtiene el índice de prioridad de riesgo IPR.

2.10 Características de los fallos.

La probabilidad de ocurrencia de los fallos con relación al tiempo, presentan una forma característica en la que se pueden distinguir tres regiones:

- a. Una región de fallo prematuro, en la que la probabilidad de ocurrencia de fallo disminuye.

- b. Una región en la que se mantiene más o menos constante la probabilidad de fallo.
- c. Una región de en la que la probabilidad de fallo es creciente en forma pronunciada.

Por lo general se emplea una función diferente para caracterizar cada una de estas regiones. Para la primera región se puede utilizar una distribución Weibull. Para la segunda región se puede utilizar una distribución exponencial. Por último para la última región se puede utilizar una distribución normal y ciertas formas de las distribuciones de Weibull y de la log-normal (Anexo B)

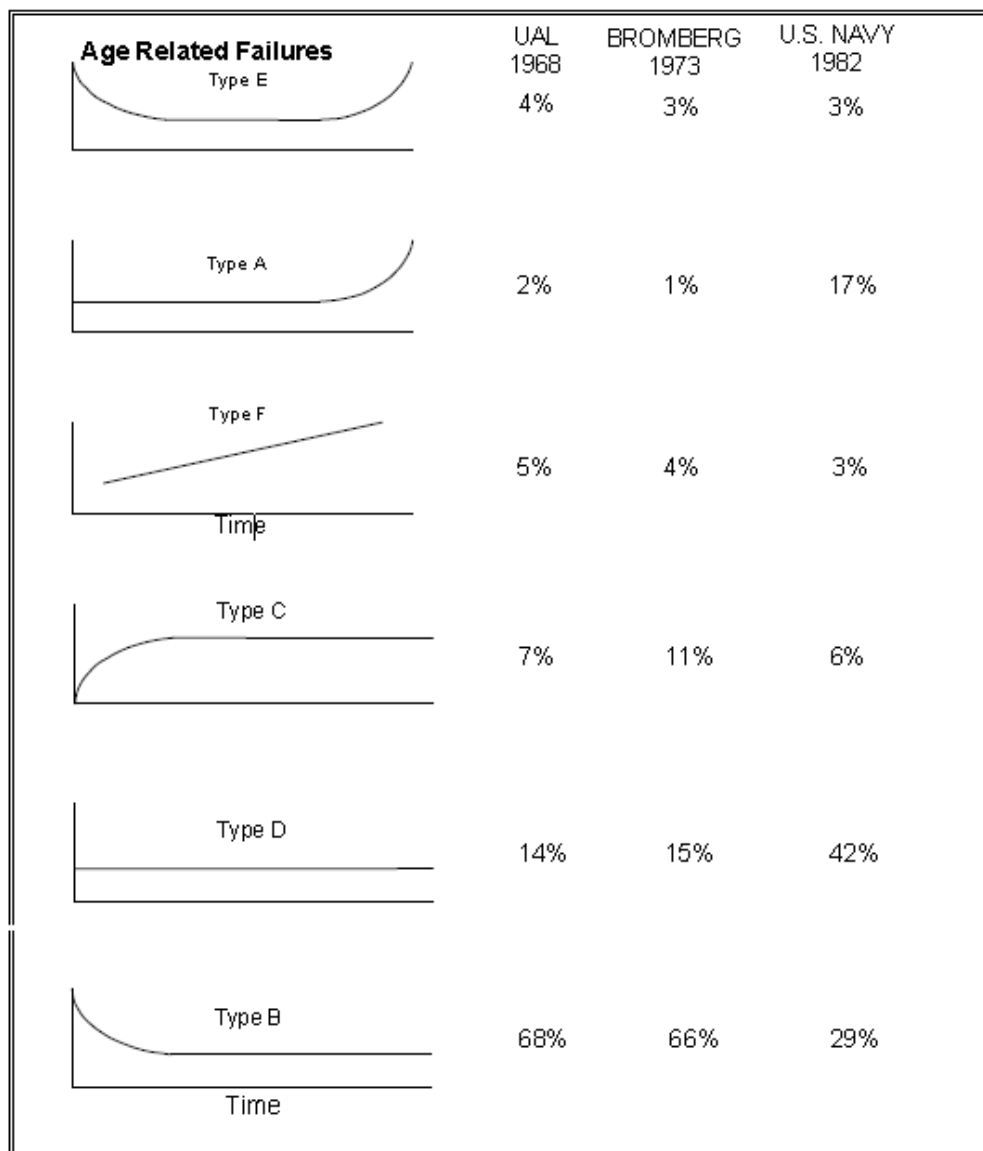


Figura 2-2. Curvas de probabilidad de ocurrencia de los fallos.

Fuente: NASA. Reliability Centered Maintenance guide for Facilities and Collateral Equipment.

En la figura 2, se puede visualizar seis tipos posibles de curvas de probabilidad de fallos:

Tipo A. Constante o creciente gradualmente, seguido de un pronunciado crecimiento de la probabilidad de fallo (Típico de los motores alternativos.)

Tipo B. La probabilidad de fallo decrece rápidamente al comienzo, seguido de una probabilidad de fallo constante o que crece lentamente (Típico de equipos electrónicos).

Tipo C. Baja probabilidad de fallo cuando el artículo es nuevo o simplemente revisado, seguido de un aumento rápido a un nivel relativamente constante.

Tipo D. Probabilidad relativamente constante de fallo en todas las regiones.

Tipo E. Curva de tipo bañera; es decir, la probabilidad decrece al comienzo, luego permanece constante y gradualmente aumentando la probabilidad de fallo en forma pronunciada.

Tipo F. Poco a poco aumenta la probabilidad de fallo, pero hay una región de desgaste fuera identificable. (Típico de los motores de turbinas.)

Las curvas tipo A y E son típicas de equipos o elementos simples, tales como neumáticos, álabes del compresor, pastillas de freno, y los miembros estructurales. La mayoría de equipos complejos tienen curvas de probabilidad condicional de los tipos B, C, D, y F.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

3.1 Parque Acuático Los Elenes.

El parque acuático los Elenes, está situado a dos kilómetros de la cabecera cantonal en dirección sureste. Para llegar a sus instalaciones, se debe atravesar la ciudad de Guano hasta llegar al barrio Santa Teresita, continuando por la avenida César Naveda. Desde la ciudad de Riobamba hay una distancia de 8 km. Existe un buen servicio de buses con frecuencias cada 10 minutos. Los domingos, las cooperativas de transporte Andina y 20 de Diciembre, realizan recorridos directos hacia los Elenes y viceversa.

El balneario los Elenes está ubicado a 2608 msnm. Las aguas que lo alimentan brotan de la peña de Langos, son temperadas (22°C) y ricas en minerales. Muchos turistas acuden a curar sus dolencias ocasionadas por el reumatismo, artritis, parálisis, la gota entre otras.

Este parque acuático, tiene una amplia gama de atracciones como la piscina de olas artificiales, la piscina con juegos interactivos para niños, piscinas con toboganes curvos y rectos tipo kamikaze, la piscina semi olímpica cubierta, se dispone además de hidromasaje, sauna, turco y polar. Además existe una piscina con plataforma, instalaciones con servicio de vestidores.

Sus amplias y renovadas áreas, disponen también de canchas deportivas, parqueaderos privados, salón de eventos, restaurante y recreación al máximo.
(<http://www.municipiodeguano.gob.ec>)



Figura 3-3. Vista panorámica del parque acuático los "Elenes".

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

3.2 Piscina de olas (funcionamiento y elementos que componen el sistema).



Figura 4-3. Piscina de olas se puede ver las rejillas ductos de salida del aire presión.

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

3.2.1 Equipos y elementos que componen este sistema.

Motor y bomba. Suministran el agua necesaria a la piscina.

Características del motor:

- Potencia 15/20 HP.
- Voltaje 220/380/440 V.
- Amperaje 50,3/29,1/25,2.
- Velocidad 3500 rpm.
- Temperatura máxima 40 °C.

Características de la bomba:

- Potencia 20 HP.
- Velocidad 3500 rpm.
- Altura de bombeo 1000 m.

Filtro HRV. Los filtros de arena para piscinas mantienen el agua limpia y libre de desechos.

Características:

- Diámetro 1,22 m.
- Longitud 4,57 m.
- Presión de trabajo 50 psi.
- Área filtrada 5 m².
- Rata de trabajo 48 m³/H/m².
- Caudal de operación 1200 cpm.
- Peso en vacío 2200 kg.
- Peso en operación 16000 kg.

Válvulas de control del fluido. Permiten la regulación del caudal del agua, son de compuerta y de 4 pulgadas.

Trampa de pelos. Permite eliminar los pelos que vienen de la piscina.

Tableros de control. Permite el encendido, control y monitoreo del sistema.

3.2.2 *Funcionamiento del sistema piscina de olas.*

En el cuarto de máquinas 1, de la piscina de olas, el agua procedente de la cisterna y de recirculación de la misma pasa a través de una trampa de pelos y mediante una bomba es elevada al filtro de arena.

Luego, es enviada por la bomba a la piscina de olas.



Figura 5-3. Filtración del agua de la cisterna y de recirculación en la trampa de pelos y posterior envío al filtro de arena.

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar



Figura 6-3. Bomba y motor conectados a continuación de la trampa de pelos.

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

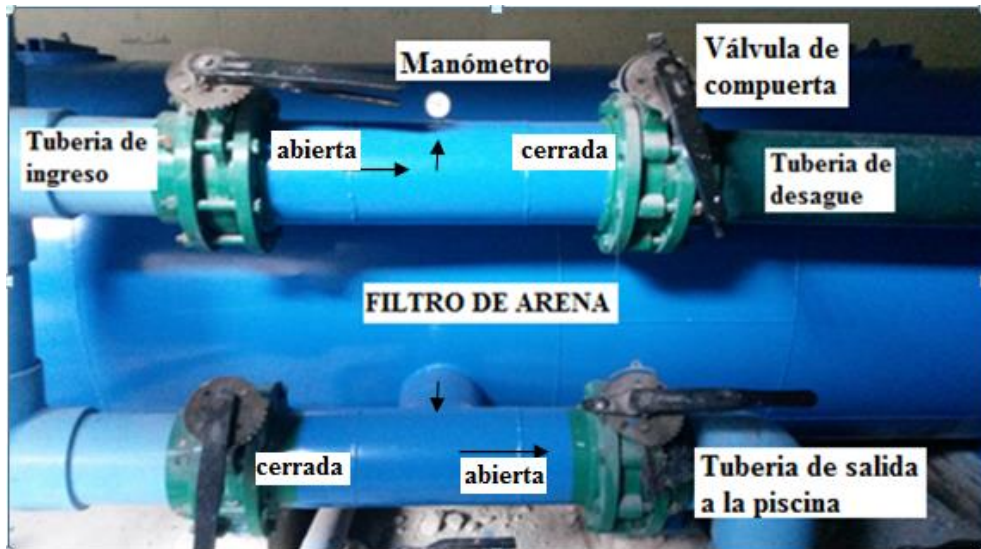


Figura 7-3. Dirección del flujo de agua en funcionamiento normal del filtro.

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

En la figura 7, se muestra la dirección del flujo de agua en el filtro de arena, en su parte superior izquierda existe una válvula de compuerta que se encuentra abierta y permite que el agua ingrese al filtro de arena, en la parte superior derecha existe otra válvula de compuerta que se halla cerrada.

En la parte inferior izquierda la válvula de compuerta está cerrada y la válvula de la derecha está abierta y permite el paso del agua a la piscina.

La presión en el manómetro a condiciones normales es 20 psi, pero si esta se eleva a valores cercanos a 28 psi, es necesario un retrolavado, en el que el flujo del fluido se invierte como se muestra en la figura 6, para eliminar las impurezas de la arena. Para este proceso, ingresa el agua por la parte inferior izquierda del filtro, pasa a través de él, lavando la arena y sale por la parte superior derecha de la tubería de desagüe, por lo que las válvulas de compuerta en la parte inferior derecha y superior izquierda deben estar cerradas.



Figura 8-3. Dirección del flujo de agua durante el retrolavado.

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

En el cuarto de máquinas 2, existe un compresor que envía aire a presión a los actuadores neumáticos de una compuerta. Los actuadores neumáticos constan básicamente de un diafragma, un vástago y un resorte. En este caso, a cada valor de presión recibida por el actuador corresponde una posición determinada del vástago acoplado a la compuerta, lo cual regula los diferentes tipos de olas.

Adicionalmente existe un motor de 55,95 KW de 3565 rpm, acoplado a un ventilador que envía aire a través de un ducto horizontal que presenta cuatro ramales verticales provistos de diafragmas que llegan a la piscina y las diferentes posiciones de la compuerta producen los diferentes tipos de olas al ingresar al agua de la piscina por diferencia de presiones.

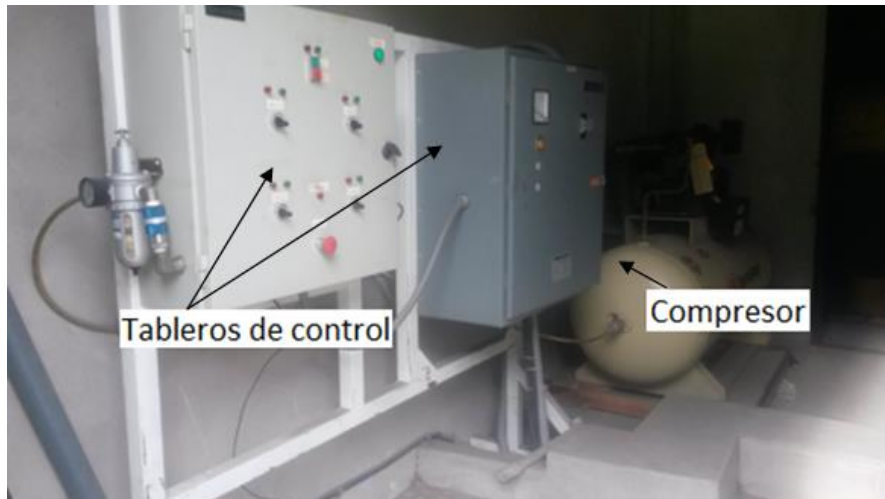


Figura 9-3. Tablero de control y compresor que acciona actuador.

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

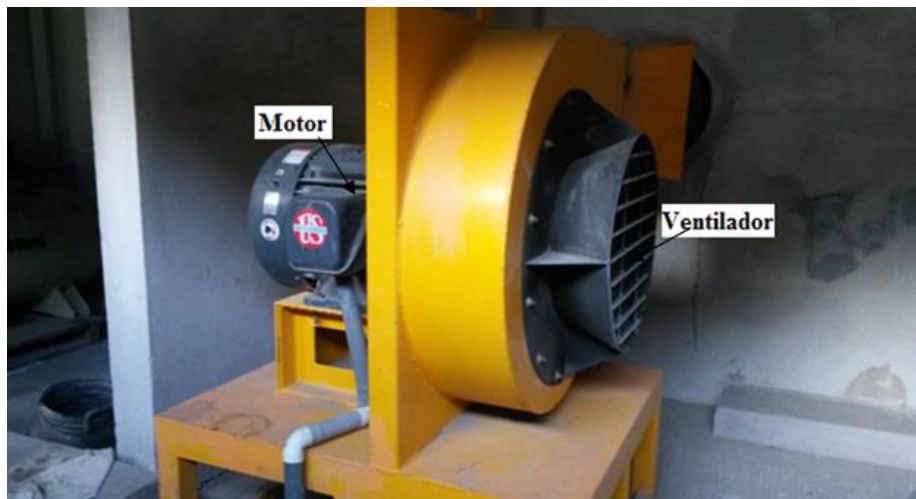


Figura 10-3. Motor acoplado al ventilador que envía aire presión la piscina.

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

En este mismo cuarto, existe un tablero provisto de una computadora Siemens y los temporizadores correspondientes que permiten el funcionamiento sincronizado del compresor y del motor del ventilador (turbina).

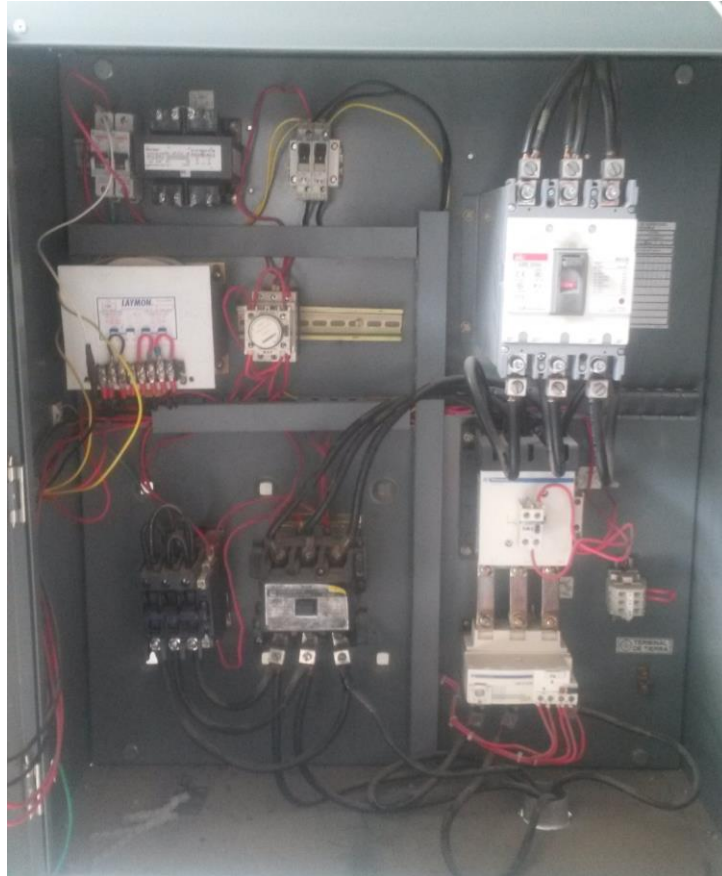


Figura 11-3. Tableros que controlan el funcionamiento de las olas.

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

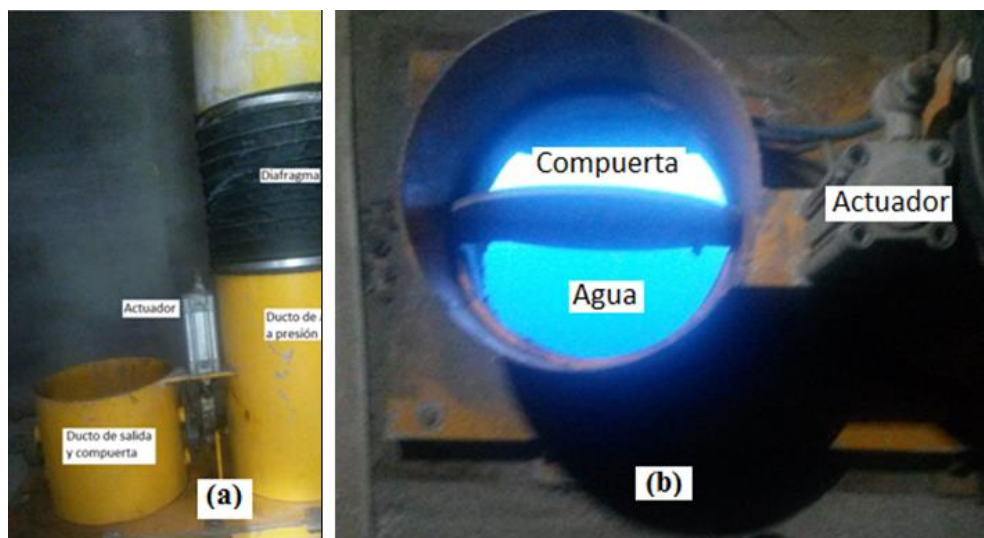


Figura 12-3. (a) Ducto de aire a presión, en el que se puede apreciar actuador, diafragma y ducto de salida. (b) Compuerta y actuador.

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

3.3 Toboganes.



Figura 13-3. Se puede observar la disposición de los tres toboganes.

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

3.3.1 *Equipos y elementos que componen este sistema.*

Toboganes A, B y C

Equipamiento principal en cada tobogán:

Motor y bomba.

Características del motor:

- Potencia 20 HP.
- Voltaje 220/380/440 V.
- Amperaje 50,3/29,1/25,2.
- Velocidad 3500 rpm.
- Temperatura máxima 40 °C.

Características de la bomba:

- Potencia 20 HP.
- Velocidad 3500 rpm.
- Altura de bombeo 1000 m.

Filtro HRV.

Características:

- Diámetro 1,25 m.
- Longitud 1,95 m.
- Presión de trabajo 50 psi.

Bomba de clorado.

Características:

- Potencia 2 HP.
- Velocidad 3500 rpm.
- Altura de bombeo 56-34 m.

Compresor.

Características:

- Potencia 5 HP.
- Velocidad 1740 rpm.

Tanque hidroneumático.

Características:

- Presión máxima 175 Psig.
- Velocidad 1040 rpm.
- Capacidad de bombeo 120 galones.

Motor de alta eficiencia

Características:

- Potencia 55 a 95 kw.
- Eficiencia 0,93.

Válvulas de compuerta.

Trampa de pelos.

Tableros de control.

3.3.2 Funcionamiento del sistema toboganes.- En el cuarto de máquina de los toboganes, el agua procedente tanto de la cisterna principal, como de las piscinas pasa a través de la trampa de pelos y es elevada a la entrada del filtro de arena (parte superior izquierda) y a la salida (parte inferior derecha) envía su caudal a las tres bombas acopladas a sus respectivos motores y luego estas a la parte alta de cada uno de los toboganes. En estas circunstancias tanto la válvula de compuerta ubicada en la parte superior derecha debe permanecer cerrada, al igual que la válvula de compuerta ubicada en la parte inferior izquierda.



Figura 14-3. Muestra el filtro de arena por el que tiene que pasar el agua

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

En la figura 14, se puede observar la dirección de circulación del agua, que ingresa por la tubería ubicada en la parte superior izquierda, ingresa al filtro de arena y desciende a través de él y sale por la parte inferior derecha hacia las bombas.



Figura 15-3. Muestra las trampas de pelo, motores, bombas que elevan el agua.

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

En la pared de fondo de la figura 15, desde otro ángulo, se puede observar las tuberías de ingreso del agua proveniente de las piscinas de los toboganes con sus válvulas de compuerta, que pasa a través de las trampas de pelos y la que llega desde el filtro de arena a las tres bombas y es elevada a la parte superior de cada uno de los toboganes.



Figura 16-3. Sentido del agua durante el retrolavado.

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

En la figura 16, se puede observar, que para el retrolavado ingresa el agua por la parte inferior del filtro, pasa a través de él, lavando la arena y sale por la parte superior derecha a la tubería de desagüe, por lo que las válvulas de compuerta en la parte inferior derecha y superior izquierda deben estar cerradas.

3.4 Piscina interactiva.



Figura 17-3. Muestra la piscina interactiva con todos sus dispositivos.

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

3.4.1 *Equipos y elementos que componen este sistema.*

Equipamiento principal:

Dos motores y dos bombas.

Características del motor:

- Potencia 15/20 HP.
- Voltaje 220/380/440 V.
- Amperaje 50,3/29,1/25,2.
- Velocidad 3500 rpm.
- Temperatura máxima 40 °C.

Características de la bomba:

- Potencia 10 HP.
- Velocidad 1500 rpm.

Filtro HRV.

Características:

- Diámetro 1,10 m.
- Longitud 1,10 m.

- Presión de trabajo 50 psi.
- Área filtrada 5 m².
- Rata de trabajo 48 m³/H/m².
- Caudal de operación 1200 GPM.
- Peso en vacío 2200 Kg.

Válvulas de compuerta.

Trampa de pelos.

Tableros de control.

3.4.2 Funcionamiento del sistema piscina interactiva. En el cuarto de máquinas de la piscina interactiva, el agua viene tanto de la cisterna como desde la piscina interactiva pasa a través de una trampa de pelos y es enviada mediante bomba a los chorros de los juegos. Pero, otra parte del agua de la piscina interactiva también pasa por una trampa de pelos y a través de una bomba es elevada a la parte superior del filtro de arena y regresa directamente a la piscina interactiva.



Figura 18-3. Equipos en la casa de máquinas de la piscina interactiva.

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

En la figura 18, se puede observar que por la tubería que existe en la pared de fondo ingresa el agua desde la piscina, pasa por la trampa de pelos, es elevada por una bomba al filtro de arena y luego retorna hacia la misma piscina. Existe, otro ingreso de agua que pasa a la trampa de pelos, es elevada por una bomba al filtro de arena y luego es distribuida por varias tuberías a los chorros de los juegos interactivos.

3.5 Piscina de agua temperada.

3.5.1 Equipos y elementos que componen este sistema.

Caldero.

Características:

- Potencia 30 HP.
- Dos equipos de transferencia de calor.
- Ablandador de 80 galones.
- PLC para su control.

Quemador a diesel:

- Rango de fuego 4 – 15 GPM.

Motor y bomba.

Características del motor:

- Potencia 10 HP.
- Voltaje 220/380/440 V.
- Amperaje 50,3/29,1/25,2.
- Velocidad 3500 rpm.
- Temperatura máxima 40 °C.

Características de la bomba:

- Potencia 11/15 HP.
- Velocidad 1500 rpm.

Filtro HRV.

Características:

- Diámetro 1,52 m.
- Longitud 0,91 m.
- Presión de trabajo 50 psi.
- Área filtrada 1,82 m².
- Rata de trabajo 48 m³/H/m².

- Caudal de operación 382 GPM.
- Peso en vacío 800 Kg.
- Peso en operación 4400 Kg.

Válvulas de control de fluido. Válvulas de compuerta de 4 pulgadas

Trampa de pelos.

Tableros de control.

3.5.2 Funcionamiento del sistema piscina de agua temperada.- En el cuarto de máquinas de la piscina de agua temperada, el agua viene tanto de la recirculación de la piscina de agua temperada como de la cisterna, pasa través de una trampa de pelos y es elevada a la parte superior del filtro de arena mediante una bomba.

Una vez filtrada y ablandada ingresa al caldero piro tubular de tres etapas provisto de un quemador a diésel y se calienta a partir de los serpentines que conducen los gases calientes y que están en contacto con el agua, hasta alcanzar los 60 °C. Luego, es enviada de vuelta a la piscina, pero durante su recorrido se enfría y llega aproximadamente a unos 20 °C. La temperatura es regulada a través de las válvulas de apertura rápida que existen a la entrada y salida del caldero.

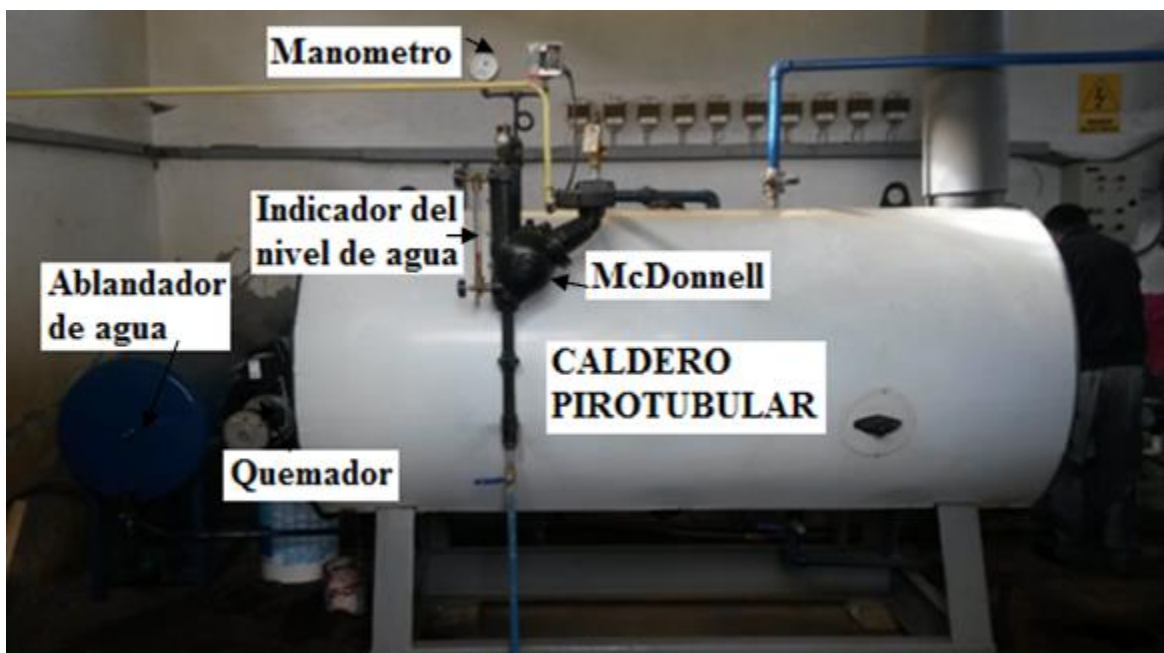


Figura 19-3. Vista frontal del caldero pirotubular de tres etapas que calienta el agua.

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

En el lado izquierdo de la figura 19, se puede apreciar el ablandador que tiene como función reducir el contenido de sales minerales y con ellos sus incrustaciones en tuberías y depósitos de agua caliente. En esta misma figura, se puede observar el caldero y sus principales accesorios como: Indicador de nivel de agua, McDonnell, manómetro, quemador y ablandador de agua.



Figura 20-3. Vista lateral del caldero puede apreciar el quemador diésel.

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

En la figura 20, se puede observar el quemador al que llega el diésel y por medio de una bomba que da la presión necesaria es atomizada en una boquilla y se mezcla con el aire para producir su combustión.



Figura 21-3. Parte posterior del caldero.

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

3.6 Baño sauna y turco.

La **sauna** es un baño de vapor o sudoración que se realiza en un recinto a muy alta temperatura. Dependiendo de la humedad relativa dentro del recinto la sauna puede ser *húmeda* o *seca*. La sauna húmeda, donde la temperatura no supera los 70 °C y la humedad relativa es muy alta, es conocida como baño turco. La sauna seca, con temperaturas entre los 80° y 90 °C y una humedad mínima, nunca superior al 20%, se la conoce como sauna. (<http://es.wikipedia.org/wiki/Sauna>)

En el baño turco el calor se genera al calentar agua y evaporarse a lo largo de toda la sala, creando una especie de neblina, que al posarse sobre la superficie corporal formará gotas asemejándose al sudor, haciendo la función de dispersar el calor y refrigerar el cuerpo. La diferencia estriba en que mientras en la **sauna se da un calor elevado y seco**, en el **baño turco la temperatura es menor y mayor su grado de humedad**, lo que hace que, en contra de lo que pueda parecer, en éste último **se sude menos que en la sauna**.

3.6.1 Equipos y elementos que componen este sistema.

Caldero.

- Potencia 10 HP.
- Quemador a diesel.

Bomba autocebante.

Características de la bomba:

- Potencia 3 HP
- Velocidad 1500 rpm

Válvulas de control de fluido. Válvulas de compuerta de 4 pulgadas.

Filtros de arena Sand Dollar.

Tablero de control.

3.6.2 Funcionamiento del sistema sauna y turco. En el cuarto de máquinas del sauna y turco existe un caldero provisto de un quemador a diésel que proporciona el vapor necesario, mediante el accionamiento de válvulas, se regula la temperatura. Al igual que en los otros sistemas, el agua proviene de la cisterna y de la recirculación de la piscina temperada. Si es recirculada pasa a través de la trampa de pelos y es elevada mediante una bomba al filtro de arena y luego ingresa al caldero. Si proviene de la cisterna ingresa directamente al filtro de arena y luego al caldero.

En el sauna, el vapor del caldero circula a través de unos serpentines de cobre que calientan el ambiente o cabina. Las temperaturas que se alcanzan están entre los 80° y 90 °C y una humedad mínima, inferior al 20%.

En el turco, donde se tiene calor y vapor, este es conducido a través de serpentines y sale al ambiente a través de unos orificios ubicados estratégicamente. La temperatura esta entre 40 y 50 grados y una humedad relativa del 99%, que produce una niebla.



Figura 22-3. Caldero para el sauna y turco.

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

En este mismo cuarto, existen además dos filtros de arena Sand Dollar y bombas para el hidromasaje, y cuatro calefones a gas para las duchas.



Figura 23-3. Filtro de arena y bomba

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

El agua pasa a través del filtro de arena y pasa a la bomba, que envía el agua a los hidromasajes, que son pequeñas piscinas con varias salidas de agua a presión, que ejercen un efecto de masaje sobre los bañistas que se hallan en el interior de las mismas.

3.7 Descripción de los equipos que componen los diferentes sistemas.

3.7.1 Calderas.- La caldera es una máquina o dispositivo de ingeniería diseñado para generar vapor. Este vapor se genera a través de una transferencia de calor a presión constante, en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia su fase a vapor saturado. En este caso se dispone de un caldero piro tubular de tres pasos.

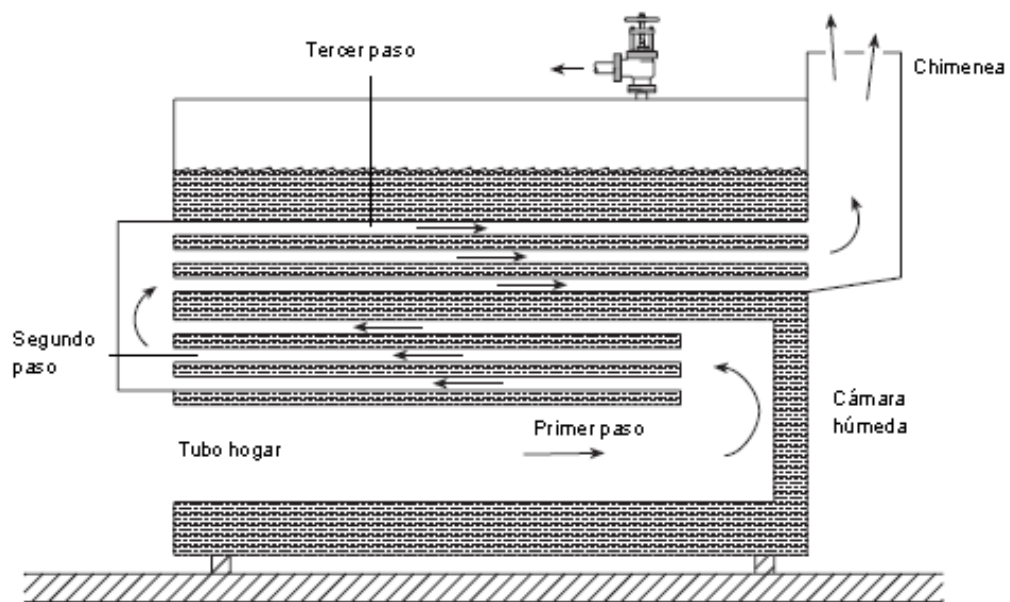


Figura 24-3. Esquema de un caldero pirotubular de tres pasos.

Fuente: [web:http://www2.spiraxsarco.com/ar/pdfs/training/gcm_04.pdf](http://www2.spiraxsarco.com/ar/pdfs/training/gcm_04.pdf)

Las partes principales de un caldero son: (www.monografias.com/trabajos97/calderos-tipos/calderos-tipos.shtml)

Quemador. Es un dispositivo que provisto de una bomba que se encarga de someter al combustible a una elevada presión que, al introducirlo por un tubo hacia una boquilla con un orificio muy pequeño, hace que salga pulverizado y, por efecto venturi, se mezcla con aire, que un ventilador se encarga de introducir en el hogar de la caldera. La ignición se produce por medio de unos electrodos entre los que salta un reguero de chispas y la llama que se produce calienta el interior del hogar.

Hogar. Es el espacio dentro del cual se quema el combustible.

Cámara de vapor. Es el espacio o volumen que queda sobre el nivel superior máximo de agua y en el cual se almacena el vapor generado por la caldera. Mientras más variable sea el consumo de vapor, tanto mayor debe ser el volumen de esta cámara.

Cámara de agua. Es el espacio o volumen de la caldera ocupado por el agua. Tiene un nivel superior máximo y uno inferior mínimo bajo el cual, el agua, nunca debe descender durante el funcionamiento de la caldera.

Cambiador de calor. Está constituido por haces de tubos por cuyo interior circulan los gases a alta temperatura cediendo calor al fluido que rodea los mismos.

Chimenea. Es el conducto de salida de los gases y humos de la combustión para la atmósfera. Además tiene como función producir el tiro necesario para obtener una adecuada combustión.

Mcdonnell. Dispositivo que trabaja mediante un flotador y está ubicado en la parte superior lateral del caldero, permite controlar el funcionamiento del caldero. Tiene tres switch: uno que conecta la bomba cuando el nivel está bajo; otro para el apagado de la bomba cuando llega al máximo nivel; y, uno adicional para el apagado del caldero, cuando se dan niveles muy bajos de agua.

Accesorios. Otros elementos adicionales como: Termómetros, pirómetros (altas temperaturas), manómetros, válvulas de seguridad, indicadores de nivel de agua y alarmas.

3.7.2 Bombas.- Las bombas son máquinas hidráulicas que se utilizan para hacer circular un fluido de un sitio a otro, venciendo la presión que el fluido encuentra en la descarga impuesta por el circuito. El fluido entra por el centro del rodete, que está provisto unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba. Debido a la geometría del cuerpo, el fluido es conducido hacia las tuberías de salida.

La característica principal de la bomba centrífuga es la de convertir la energía de una fuente de movimiento (el motor) primero en velocidad (o energía cinética) y después en energía de presión.

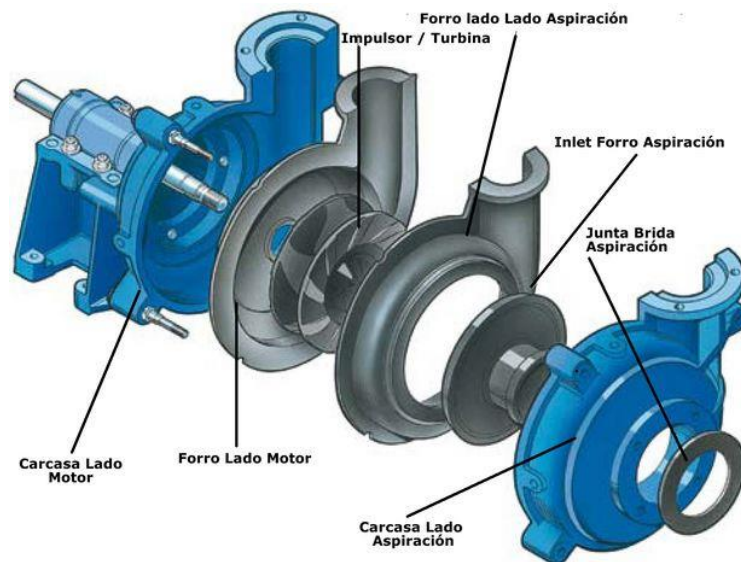


Figura 25-3. Partes de una bomba centrífuga.

Fuente: <http://www.intervenispa.com/bombas-centrifugas-horizontales-para-sistemas-pesados-crc-bw/>

Las partes de una bomba son:

Impulsor. Es la parte principal de la bomba centrífuga. Recibe el líquido y le imparte una velocidad de la cual depende la carga producida por la bomba.

Eje. Es un elemento en forma de barra de sección circular no uniforme que se fija rígidamente sobre el impulsor, que transmite la fuerza del elemento motor y está apoyado en los cojinetes.

Cojinetes. Son elementos rodantes que sirven de soporte al eje y todo el rotor en un alineamiento correcto en relación con las partes estacionarias. Soportan las cargas radiales y axiales existentes en la bomba.

Carcasa. Es el revestimiento exterior de una bomba que tiene la forma de caracol, rodeando el rodete de tal forma que el área de flujo de agua aumenta progresivamente hacia la tubería de descarga.

Sellos o juntas. La función de estos elementos es evitar las fugas hacia fuera del líquido bombeado a través del orificio por donde pasa el eje de la bomba y el flujo de aire hacia el interior de la bomba.

Base. Es el elemento en donde se soporta toda la bomba.

3.7.3 Motores.- El motor eléctrico es un dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas. Son máquinas eléctricas rotatorias compuestas por un estator y un rotor.

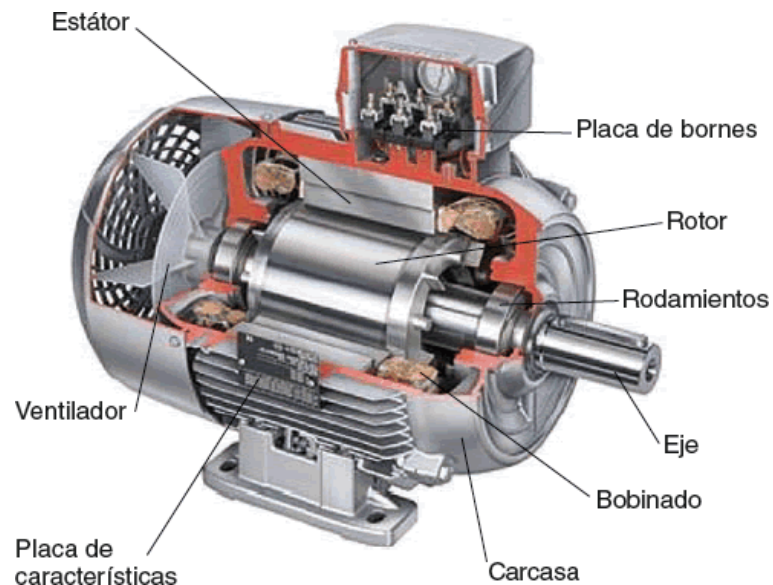


Figura 26-3. Partes de un motor eléctrico.

Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_el%C3%A9ctrico#/media/File:Rotterdam_2011_\(14\).JPG](http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_el%C3%A9ctrico#/media/File:Rotterdam_2011_(14).JPG)

Las partes de un motor eléctrico son:

Estator. Es el elemento que opera como base, permitiendo que desde ese punto se lleve a cabo la rotación del motor. El estator no se mueve mecánicamente, pero sí magnéticamente.

Rotor. Es el elemento de transferencia mecánica, ya que de él depende la conversión de energía eléctrica a mecánica. Los rotores, son un conjunto de láminas de acero al silicio que forman un paquete.

Carcasa. Es la parte que protege y cubre al estator y al rotor, el material empleado para su fabricación depende del tipo de motor, de su diseño y su aplicación.

Bobinado. Es el cableado que se encuentra sobre el rotor.

Placa de bornes. Es un elemento que protege a los conductores que alimentan al motor, resguardándolos de la operación mecánica del mismo, y contra cualquier elemento que pudiera dañarlos.

Eje. Es una barra de sección circular que gira en forma solidaria con el rotor y es soportada por los cojinetes.

Cojinetes. Son elementos que se utilizan para sostener y fijar ejes mecánicos, y para reducir la fricción, lo que contribuye a lograr que se consuma menos potencia.

Ventilador. Es el elemento que con el giro de sus aspas enfría el motor.

Base. Es el elemento en donde se soporta toda la fuerza mecánica de operación del motor.

3.7.4 Filtros de arena.- El objetivo de los filtros es retener las partículas que se encuentran en suspensión en el agua. Los filtros para piscinas consisten en el paso del agua a través de un material poroso que retiene las partículas en suspensión y materias coloidales. Las dimensiones de los poros del filtro determinan la calidad de la filtración. Para que el agua este limpia, la filtración debe ser capaz, independientemente de cuál sea el tipo de filtro, de retener las partículas en suspensión de un tamaño superior a 20 urn.

Las partes principales de un filtro de arena son:

Cuerpo del filtro. Es la parte que cubre y protege los elementos internos del filtro Deflector.

Colector. Es el elemento que se encuentra en la parte inferior, está provisto de un sinnúmero de agujeros y recoge el agua filtrada que desciende a través del filtro de arena.

Purga. Es el orificio a través del cual se puede evacuar todos los residuos durante el contra lavado.

Válvula selectora. Es el elemento que permite el cambio a las diferentes fases de operación y limpieza del filtro. Las Tareas básicas con las que debe cumplir y contar un Filtro, son: Filtrado, Retro lavado, Enjuague, Recirculación, y Desagotar (vaciado).

Arena. Es el material a través del cual pasa el agua durante el filtrado. La granulometría recomendada es de 0,8 a 1,2 mm.

Los filtros, la elección adecuada, su mantenimiento y el control, son vitales para el cuidado de la piscina.

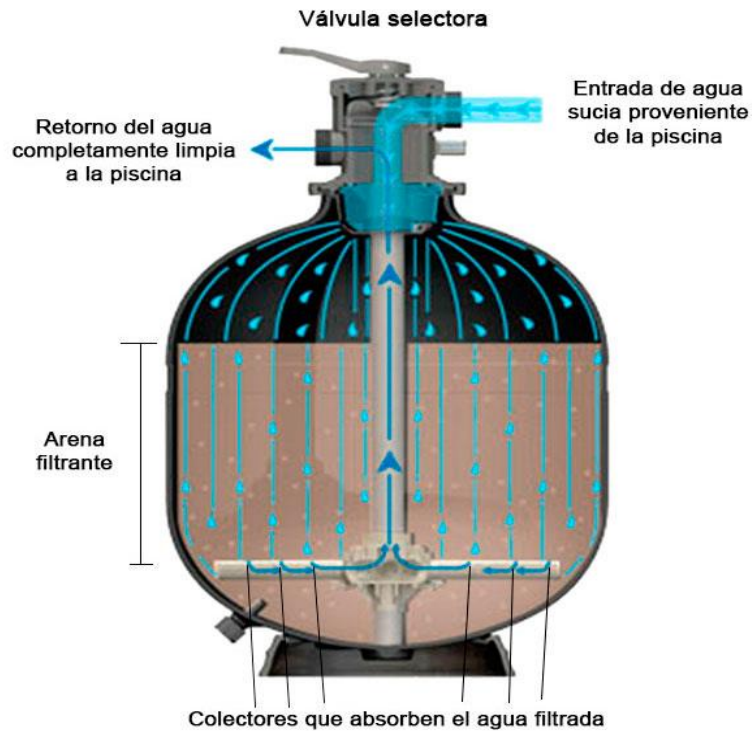


Figura 27-3. Partes de un filtro de arena.

Fuente: <http://hidroshop.mx/filtros-de-arena-y-zeolita-para-albercas/>

3.7.5 Compresor. El compresor basa su principio de funcionamiento en la transformación de la energía generada por motor eléctrico, en mecánica y esta a su vez en energía neumática al comprimir el aire hasta una presión de trabajo preestablecida.

Las partes principales de un compresor son:

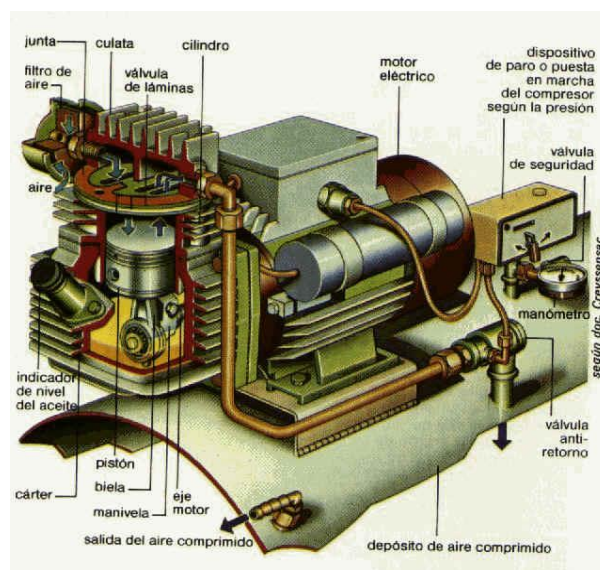


Figura 28-3. Partes de un compresor.

Fuente: <http://www.euskalnet.net/j.m.f.b./neumatica.htm>

Tanque. Es el depósito en el cual se almacena el aire comprimido.

Motor. Es el dispositivo encargado de generar y proporcionar la energía dinámica necesaria para accionar la bomba del compresor.

Válvula de retención. Es la que permite que entre el aire en el tanque y evita que se escape por el mismo camino.

Válvula de admisión. Es la que se abre cuando el pistón baja y luego al subir impulsa el aire admitido, abriendo con la misma presión la válvula de salida hacia el tanque.

Válvula de presión. Es la que detiene el motor cuando en el tanque se alcanza la presión máxima de aire, y pone en marcha el compresor cuando la presión del aire baja del mínimo establecido, generalmente 80 psi o 5,5 bar.

Regulador de salida. Es el elemento que permite regular la presión de salida.

Cigüeñal. Es el elemento encargado de mover alternativamente una biela de puño cerrado unida a uno o más pistones de tres anillos.

Culata. Es el elemento en el que se encuentra un conjunto de válvulas encargadas de admitir y desviar el aire hacia el tanque por medio de una cañería. La admisión cuenta con un filtro para retener las impurezas.

Cilindro. Es el elemento dentro del cual se desplaza el pistón.

Pistón. Es el elemento encargado de comprimir el aire dentro del cilindro.

Manómetro. Es el dispositivo en forma de reloj graduado que indica la presión existente en el tanque o depósito.

3.7.6 Actuador neumático.- Es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado. Este recibe la orden de un regulador o controlador y en función a ella genera la orden para activar un elemento final de control como, por ejemplo, una válvula.

Por lo general, los actuadores hidráulicos se emplean cuando lo que se necesita es potencia, y los neumáticos son simples posicionamientos. A los mecanismos que convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico se les denomina actuadores neumáticos.

Dentro de los actuadores neumáticos existen lineales y rotatorios según su movimiento, en este caso como se trata de girar una compuerta es rotatorio. El movimiento debe ser limitado a un ángulo máximo de rotación, normalmente de 90° o fracción de vuelta.

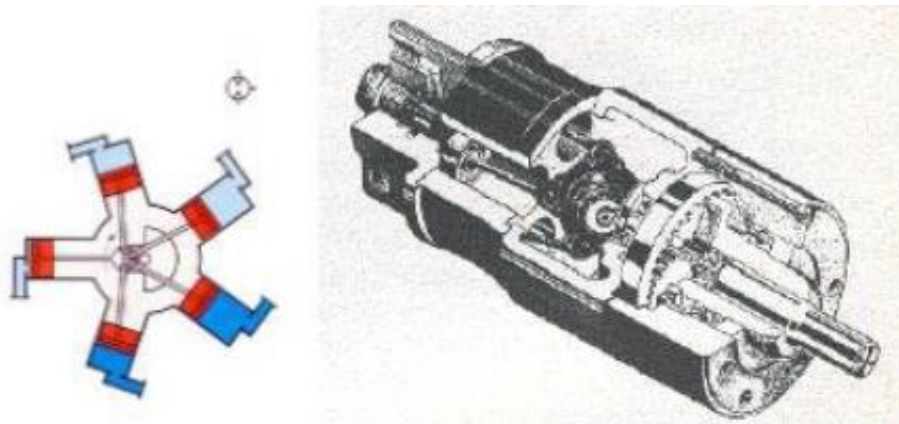


Figura 29-3. Esquema de un actuador neumático.

Fuente:<http://cursos.aiu.edu/sistemas%20hidraulicas%20y%20neumaticos/pdf/tema%204.pdf>

El actuador utilizado en este caso es un motor de émbolos dispuestos axialmente, la fuerza se transforma por medio de un plato oscilante en un movimiento giratorio. El aire los reciben dos cilindros simultáneamente al objeto de equilibrar el par y obtener un

funcionamiento normal. Estos motores se ofrecen para giros a derecha y a izquierda. Las principales partes de un actuador neumático rotatorio son:

Cilindros. Es el elemento dentro del cual se desplaza el émbolo, tiene una conexión de aire comprimido en su cabeza y está anclado a una estructura inmóvil.

Émbolos. Es el elemento que permite empujar el aire en el interior de un cilindro y esta fijo al mecanismo que se accionará.

Vástagos. Es el elemento que está unido al émbolo y luego de cumplir su movimiento retorna a su posición normal por efecto de un muelle.

Sellos. Son las membranas que sellan y aíslan un recinto.

3.7.7 Ventilador centrifugo.- Es una máquina neumática compuesta de un rodete de álabes que gira dentro de una carcasa espiral conocida como voluta. La rotación del rodete se asegura mediante un motor eléctrico, siendo su finalidad poner en movimiento aire o un fluido. Las partes de un ventilador son:

Rotor. Es un dispositivo mecánico formado por un conjunto de elementos denominados álabes, montados de forma concéntrica y solidarias de un eje que, al girar, los alabes trazan un movimiento rotativo que ejerce una fuerza sobre un fluido (aire o gas), lo cual se traduce en un movimiento continuo aumentando su presión, pero sin cambiar su densidad.

Eje. Es una barra de sección circular que gira en forma solidaria con el rotor es soportada por los cojinetes y está directamente acoplado al eje del motor.

Cuerpo. Es la caja exterior que tiene la forma de voluta que protege y cubre el rotor provisto de álabes y soporta los rodamientos.

Cubo del ventilador. Es un elemento que consiste de un cubo central al cual se conectan múltiples álabes del ventilador y están diseñadas para girar en un movimiento circular.

Rodamientos. Son elementos rodantes que sirven de soporte al eje y todo el rotor.

Drenaje. Agujero que permite la salida del exceso de aceite.

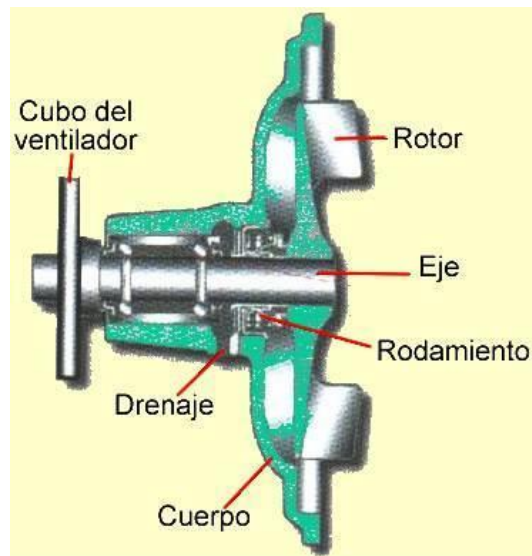


Figura 30-3. Partes de un ventilador.

Fuente:<http://www.bing.com/images/search?q=partes+de+un+ventilador&FORM>

3.7.8 Válvulas.- Son los elementos mecánicos que se emplean para regular, permitir o impedir el paso de un fluido a través de una instalación industrial o máquina de cualquier tipo. Las partes de una válvula son:

Cuerpo: Es la parte a través de la cuál transcurre el fluido.

Obturador: Es el elemento que hace que la sección de paso varíe, regulando el caudal y por tanto la pérdida de presión.

Accionamiento: Es la parte de la válvula que hace de motor para que el obturador se sitúe en una posición concreta. Puede ser motorizado, mecánico, neumático, manual o electromagnético.

Cierre: Une el cuerpo con el accionamiento. Hace que la cavidad del cuerpo y del obturador (donde hay fluido) sea estanco y no fugue.

Vástago: Es el eje que transmite la fuerza del accionamiento al obturador para que este último se posicione.

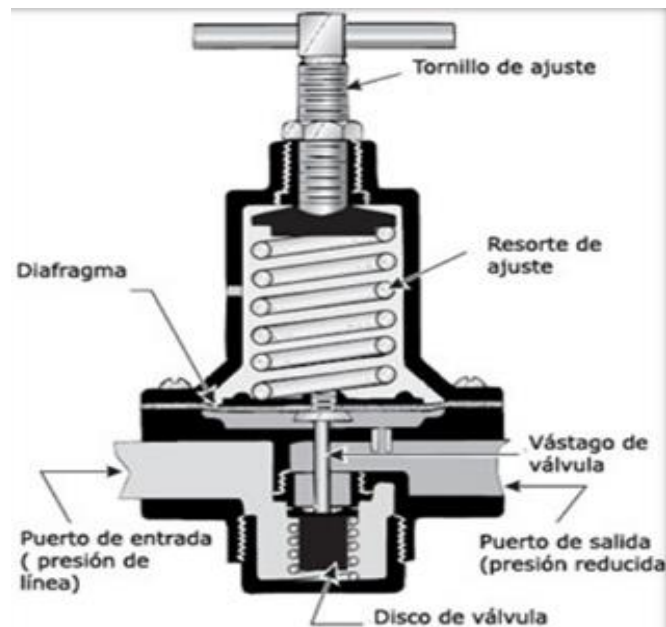


Figura 31-3. Partes de una válvula de compuerta.

Fuente: <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica23.htm>

3.7.9 Tableros de control.- Un tablero eléctrico es una caja o gabinete que contiene los dispositivos de conexión, maniobra, comando, medición, protección, alarma y señalización, con sus cubiertas y soportes correspondientes, para cumplir una función específica dentro de un sistema eléctrico. Los equipos de protección y de control, así como los instrumentos de medición, se instalan por lo general en tableros eléctricos.

Los tableros son equipos eléctricos, cajas o gabinetes que concentran dispositivos de conexión, barras de Distribución, Elementos de Protección, Señalización, Comando y

eventualmente, instrumentos de medida, alarma y de maniobra o comando, con sus cubiertas y soportes correspondientes, para cumplir una función específica dentro de un sistema eléctrico desde los cuales se puede proteger y operar toda la instalación o parte de ella.

Dentro de los elementos más importantes de un tablero:

Los pulsadores que se usan en mandos generales de arranque y de parada, también en mandos de circuito de seguridad (paro de emergencia).

Los temporizadores que son para el control de los tiempos, hay unos que tienen diferentes programaciones por día, semana.

Los contactores que son para la alimentación de las bombas, y se prende cuando el temporizador activa su salida.

El arranque de motores es para su encendido.

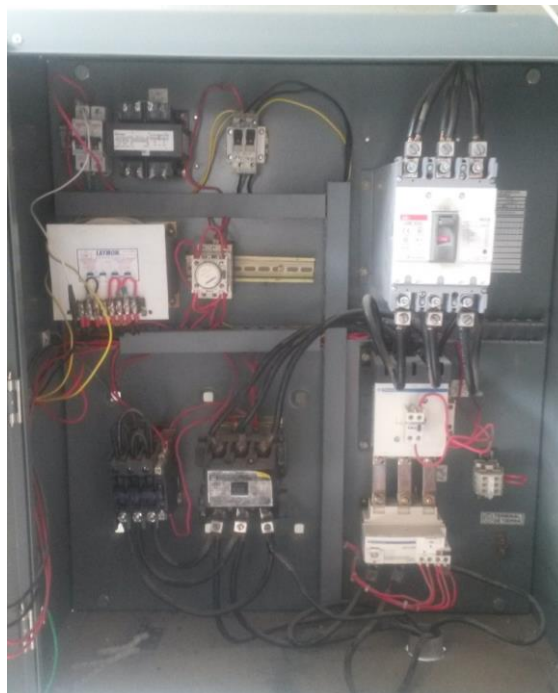


Figura 32-3. Tablero de control.

Fuente: <http://www.afinidadelctrica.com.ar/articulo.php?IdArticulo=18>

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 Diseño del Modelo de Gestión de Mantenimiento.

El mantenimiento de parques acuáticos es una actividad que debe realizarse durante todo el año, independientemente de su uso. El medio fundamental con el que se trabaja en un parque acuático es el agua. Para su desinfección y conservación se utilizan productos químicos, los mismos que deben ser suministrados en cantidades apropiadas para evitar daño en la piel de los usuarios y su grado de corrosividad en los equipos y sistemas.

Los niveles de PH deben ser los adecuados para evitar la proliferación de algas que pueden causar daño en las instalaciones. Así mismo, el cloro ayuda a mantener limpia y transparente el agua, libre de micro-organismos. Los equipos más comunes existentes en un parque acuático son: **Calderos para el calentamiento del agua, filtros y bombas para poner en movimiento el agua.**

Los calderos de vapor al estar expuestos a altas temperaturas, e internamente debido a los flujos de vapor, los mismos que contienen diferentes elementos minerales, de acuerdo a la calidad de agua que se haya utilizado, están proclives a afectarse de la corrosión, más aún si se lo puso a descansar al caldero por períodos de tiempo prolongados. Esto da lugar a la formación de precipitados y elementos abrasivos que afectan internamente, especialmente a las tuberías de conducción de calor.

Un sistema de bombeo no se mantiene sólo. La frecuencia de mantenimiento no es la misma para todas las bombas, sino que varía con las condiciones del servicio. Una bomba que maneje líquidos limpios, no corrosivos, requiere mucho menos mantenimiento que una bomba del mismo tamaño y tipo que tenga que manejar líquidos corrosivos o arenisca.

Además se vuelve necesaria la filtración del agua. El funcionamiento de la filtración está siempre en función del tipo de filtros que se use, los más normales son de arenas o sílices que se les denomina lecho filtrante. En piscinas de uso limitado como el caso de las piscinas familiares o plurifamiliares los lechos filtrantes suelen ser de algún tipo de arena y el agua entra por arriba del filtro, pasando por el lecho que según el tipo retiene las partículas en suspensión, ya que los lechos son porosos.

Para proteger el equipamiento de este parque acuático se propone aplicar un modelo de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad que permita alcanzar este objetivo fundamental. Entendiéndose por gestión del mantenimiento todas aquellas actividades que determinan los objetivos del mantenimiento, las estrategias y las responsabilidades, se realizan por medio de la planificación, del control y de la supervisión del mantenimiento, y mejorando los métodos organizativos incluyendo los aspectos económicos.

La filosofía RCM emplea Mantenimiento Preventivo (PM), pruebas de predicción e Inspección (PT & I), reparación (también llamado mantenimiento reactivo) y técnicas de mantenimiento proactivas de manera integrada, para aumentar la probabilidad de que un equipo o elemento requerido, funcione de manera segura durante su ciclo de vida de diseño con un mínimo de mantenimiento.

4.2 Metodología RCM aplicada a los sistemas del parque acuático.

Las fuentes de información para determinar los fallos son muy diversas. Entre las principales se tienen las siguientes: historial de fallas, consultas al personal de operación y mantenimiento, y el estudio de los diagramas lógicos y funcionales de la planta.

En el parque acuático, no se dispone de un historial de fallas, que resulta una información valiosa a la hora de implementar un plan de mantenimiento, lo único que se pudo obtener es la información de los técnicos que han realizado la operación y el mantenimiento en los últimos tiempos.

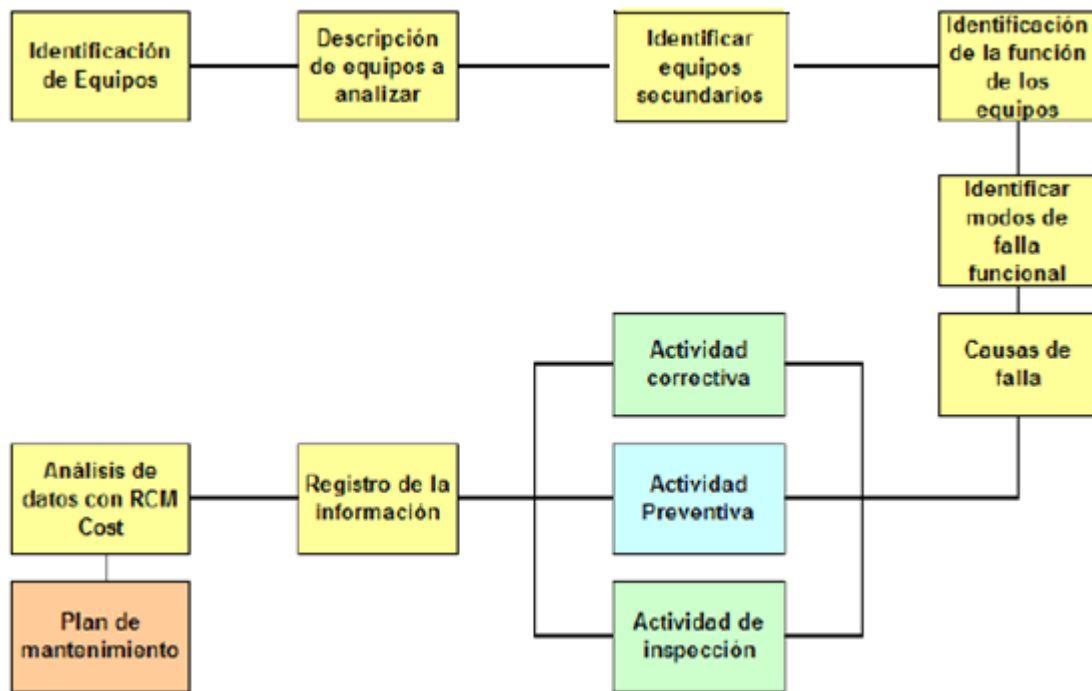


Figura 33-4. Diagrama metodología RCM que se va aplicar en el parque acuático.

Fuente: Yolvin Hugo Cortes Beleño y Jorge Luis Tovar Monterrosa (2007).

Para el presente caso, las doce fases recomendadas por la norma MIL-STD-3034, se las ha reducido a siete, por cuanto el análisis reviste menos criticidad que el que existe en la industria aeronáutica, para la cual se preparó este documento técnico.

4.2.1 Fase 0. Lista y codificación de equipos que componen los diferentes sistemas.-

En el parque acuático existen cinco sistemas. Dentro de cada uno de ellos se han identificado: motores, bombas, calderos en dos de ellos, compresor y ventilador en uno de ellos, válvulas, trampas de pelos, filtro de arena y tableros de control.

Para poder identificar los diferentes equipos y elementos de cada uno de estos sistemas, se utilizarán dos letras que permitirán determinar su pertenencia a cada uno de ellos:

- Piscina de Olas-**PO**.
- Toboganes-**TB**.
- Piscina interactiva-**PI**.
- Piscina de agua temperada-**PT**.
- Sauna y turco-**ST**.

Inmediatamente luego de estas letras seguirá una o dos letras y un número que indicarán su tipo de equipo o accesorio y su ubicación dentro de la secuencia del circuito analizado. Así, se tiene que las letras dadas a continuación tienen el siguiente significado.

V-Válvula.

M-Motor.

F-Filtro.

A-Actuador neumático.

VE-Ventilador.

T-Trampa de pelos.

B-Bomba.

CO-Compresor.

C-Caldero.

TC-Tablero de control.

Ejemplo: En el sistema Piscina de olas existen de entrada válvulas antes de la trampa de pelos T3 que serán designadas por V1 y V2. Entonces su designación completa será respectivamente:

PO-V1 y PO-V2 que significa que son válvulas de la piscina de olas.

PO-T3 que es una trampa de pelos que va continuación de esas válvulas

PO-M4- Motor que a continuación de la trampa de pelos

PO-B5- Bomba que va acoplada al motor

PO-F6-Filtro de arena que va a continuación de la bomba.

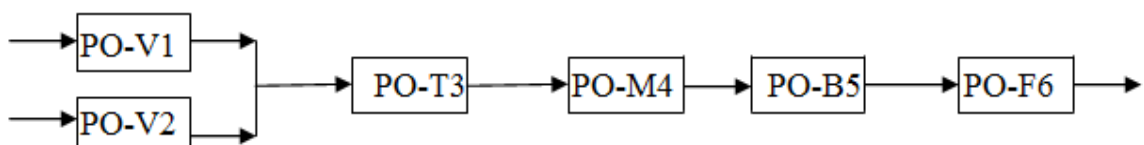


Figura 34-4. Diagrama funcional hidráulico de la piscina de olas.

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar.

Esta codificación servirá para su identificación y reconocimiento en las órdenes de inspección y mantenimiento que maneje el personal. En el resto de sistemas se mantiene la misma secuencia.

4.2.2 Fase 1. Listado de funciones y especificaciones.

La función de los equipos y elementos que encuentran en los diferentes sistemas del parque acuático son:

Motor: Transformar la energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas.

Bomba: Utilizar la energía mecánica del motor para elevar un caudal de agua a una altura mayor.

Caldera: Es una máquina térmica diseñada para generar vapor. Este vapor se genera a través de una transferencia de calor a presión constante, en la cual el agua se calienta y cambia su fase a vapor saturado.

Válvulas: Regular el flujo del agua.

Filtros: Retener las impurezas sólidas que contaminan el agua.

Compresor: Son las máquinas generadoras de aire a presión.

Actuador: Es un dispositivo capaz de transformar energía neumática en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado.

Ventilador: Poner al aire en movimiento para activar un dispositivo.

Trampa de pelos: Retener los pelos del agua de recirculación proveniente de las piscinas.

Tablero de control: Permite el encendido, control y monitoreo de un sistema.

4.2.2.1 Sistema denominado "Piscinas de Olas".

Función. Este sistema tiene como función simular el comportamiento de varios tipos de olas, de tal forma que se asemejen a las olas naturales que se pueden tener en una playa. Este consta de dos subsistemas, cuyo equipamiento se muestra en las tablas adjuntas:

Subsistema 1. Bombeo.

Función. Proporcionar la cantidad suficiente de agua limpia y pura a la piscina de olas.

Tabla 4-4. Subsistema 1. Filtración y bombeo.

Sistema	Subsistema 1	Equipo	Componentes
Piscina de olas	Bombeo	Motor	Estator y Rotor Bobinado Ventilador Rodamientos Eje Carcasa Placa de bornes
		Bomba	Impulsor Eje Rodamientos Carcasa Juntas y sellos
		Válvulas	Cuerpo Obturador Accionamiento Cierre Vástago
	Filtración de agua	Trampa de pelos	Cuerpo Tapa Filtros
		Filtro HRV	Cuerpo del filtro Deflector Colectores Purga o desagüe Arena

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar.

Subsistema 2. Producción de olas

Función. Poner en movimiento al agua y con ello generar olas artificiales.

Tabla 5-4. Subsistema 2. Producción de olas.

Sistema	Subsistema 2	Equipo	Componente
Piscina de olas	Productor de olas	Compresor	Tanque Motor Válvulas Medidores Accesorios
		Actuador neumático	Camisa del cilindro Embolo Culatas Juntas Empaques y retenes Casquillo guía
		Motor	Estator Rotor Bobinado Ventilador Rodamientos Eje Carcasa Placa de bornes
		Ventilador	Cuerpo Cubo del ventilador Rotor Eje Rodamiento

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar.

4.2.2.2 Sistema denominado "Toboganes".

Función. El tobogán es un tubo de fibra de vidrio inclinado que presenta partes abiertas y cerradas en cuya superficie corre agua para permitir el fácil deslizamiento de los bañistas hacia la piscina. La función de un tobogán es producir emoción y adrenalina en las personas durante su descenso.

Tabla 6-4. Sistema de toboganes.

Sistema	Subsistema 1	Equipo	Componentes
Toboganes	Bombeo	Motor	Estator Rotor Bobinado Ventilador Rodamientos Eje Carcasa Placa de bornes
		Bomba	Impulsor Eje Rodamientos Carcasa Juntas y sellos
		Válvulas	Cuerpo Obturador Accionamiento Cierre Vástago
	Filtración de agua	Trampa de pelos	Cuerpo Tapa Filtros
		Filtro HRV	Cuerpo del filtro Deflector Colectores Purga Arena

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar.

4.2.2.3 Sistema denominado "Piscina Interactiva".

Función. Permitir la distracción de niños tanto en natación como en sus diferentes juegos interactivos con boquillas estratégicamente distribuidas en el centro de la piscina que impulsan agua hacia los bañistas.

Tabla 7-4. Piscina Interactiva.

Sistema	Subsistema 1	Equipo	Componentes
Piscina Interactiva	Bombeo	Motor	Estator Rotor Bobinado Ventilador Rodamientos Eje Carcasa Placa de bornes
		Bomba	Impulsor Eje Rodamientos Carcasa Juntas y sellos
		Válvulas	Cuerpo Obturador Accionamiento Cierre Vástago
	Filtración de agua	Trampa de pelos	Cuerpo Tapa Filtros
		Filtro HRV	Cuerpo del filtro Deflector Colectores Purga Arena

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar.

4.2.2.4 Sistema denominado "Piscina de agua temperada".

Función. Permitir disfrutar de una piscina que tiene agua con temperatura agradable.

La piscina de agua temperada es una piscina que mantiene su temperatura aproximadamente a 20 °C , debido a que el agua es calentada mediante un caldero que cede su energía calorífica, cuando esta entra en contacto con unos serpentines que conducen los gases calientes que se producen al quemar diésel.

Tabla 8-4. Sistema de agua temperada.

Sistema	Subsistema	Equipo	Componentes
Piscina temperada	Bombeo	Motor	Estator Rotor Bobinado Ventilador Rodamientos Eje Carcasa Placa de bornes
		Bomba	Impulsor Eje Rodamientos Carcasa Juntas y sellos
		Válvulas	Cuerpo Obturador Accionamiento Cierre Vástago
	Filtración de agua	Trampa de pelos	Cuerpo Tapa Filtros
		Filtro HRV	Cuerpo del filtro Deflector Colectores Purga Arena
	Calentamiento del agua	Caldero	Quemador Hogar Tubos del intercambiador Chimenea Accesorios de control

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar.

4.2.2.5 Sistema denominado "Sauna y turco".

Función. Disfrutar de los efectos benéficos desestresantes del vapor seco y húmedo.

Tabla 9-4. Sistema sauna y turco.

Sistema	Subsistemas	Equipo	Componentes
Piscina de agua temperada	Bombeo	Motor	Estator Rotor Bobinado Ventilador Rodamientos Eje Carcasa Placa de bornes
		Bomba	Impulsor Eje Rodamientos Carcasa Juntas y sellos
		Válvulas	Cuerpo Obturador Accionamiento Cierre Vástago
	Filtración de agua	Filtro HRV	Cuerpo del filtro Deflector Colectores Purga Arena
	Calentamiento del agua	Caldero	Quemador Hogar Tubos del intercambiador Chimenea Accesorios de control

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar.

4.2.3 Fase 2. Determinación de los fallos funcionales y técnicos.

Fallo funcional. Es aquel que impide al sistema en su conjunto cumplir su función principal. (<http://mantenimientopetroquimica.com/index.php/fase-2-determinacion-de-fallos-funcionales-y-fallos-tecnicos>)

Ejemplo: El daño en una bomba puede impedir que funcione un tobogán o que sea abastecido un caldero.

Fallo técnico. Es aquel que no impide que un sistema cumpla su función. Ejemplo: El daño en un filtro.

En este caso se dará todo el énfasis debido a los fallos funcionales, porque los técnicos se pueden controlar o atenuar con un mantenimiento preventivo oportuno.

Tabla 10-4. Fallos funcionales en motores.

Componente	Función	Modos de fallo
Motores	Transformar la energía eléctrica en mecánica	-El motor no gira -Altas vibraciones -Salta el protector térmico -Saltan los fusibles -Ruido excesivo -Alta temperatura de la carcasa externa

Fuente: Weg. Manual de instalación y mantenimiento de motores eléctricos de inducción trifásicos. Anormalidades en servicio (51).

Tabla 11-4. Fallos funcionales en bombas.

Componente	Función	Modos de fallo
Bomba	Poner en movimiento el agua	- No bombea - Caudal insuficiente - Presión insuficiente - No arranca - Consumo de energía excesivo - Perdida por el sello mecánico - La bomba vibra o es ruidosa - La bomba recalienta o engrana - Saltan los fusibles - Salta el protector térmico

Fuente: Pompetravaini. Manual operativo de instalación, puesta en marcha y mantenimiento de las bombas centrífugas.

Tabla 12-4. Fallos funcionales en calderos.

Componente	Función	Modos de fallo
Calderos	Es una máquina térmica diseñada para generar vapor	- Fallas en el arranque. El quemador y el ventilador no arrancan. - Fallas en el encendido. - Ventilador y quemador arrancan pero no hay llama principal. - Fallas en los materiales.

Fuente: Activa química. (2015). fallas en calderas. 01/05/2015, de Activa química

Tabla 13-4. Fallos funcionales en ventiladores.

Componente	Función	Modos de fallo
Ventiladores	Poner al aire en movimiento	- Ruido excesivo. - Vibración

Fuente: Preditec. (2015). Ventiladores y soplantes. 3/05/2015, de Preditec.

Tabla 14-4. Fallos funcionales en compresores.

Componente	Función	Modos de fallo
Compresores	Producir aire a presión para activar un dispositivo.	<ul style="list-style-type: none"> – Baja presión de descarga: – Insuficiente capacidad. – Alta presión en el enfriador intermedio. – Golpeteo. – Vibración

Fuente: Antonio Nieto. (2014). Identificación y Evaluación de Fallas de Compresores. 28/04/2015.

Tabla 17-4. Fallos funcionales en válvulas.

Componente	Función	Modos de fallo
Válvulas	Regular el flujo del agua.	<ul style="list-style-type: none"> – Fugas – Corrosión – Erosión

Fuente: ITAR. Operación y mantenimiento de válvulas.

Tabla 15-4. Fallos funcionales en filtros de arena.

Componente	Función	Modos de fallo
Filtros de arena	Retener las impurezas sólidas que contaminan el agua.	<ul style="list-style-type: none"> – Arena o tierra regresa a la piscina – La presión del filtro se eleva de 8 a 10 psi (normal es 20 psi y puede llegar hasta 30 psi). – Aparición de burbujas

Fuente: Regaber. Filtro arena.

Tabla 16-4. Fallos funcionales en actuadores.

Componente	Función	Modos de fallo
Actuadores	Es un dispositivo capaz de transformar energía neumática en la activación de un proceso.	<ul style="list-style-type: none"> – Desgaste y holguras excesivas – No funciona el actuador – Presión de aire insuficiente.

Fuente: Rotor FluidK Systems. Manual de instalación y mantenimiento. Detección de fallas (8).

Tabla 17-4. Fallos funcionales en trampas de pelos.

Componente	Función	Modos de fallo
Trampa de pelos	Retener los pelos del agua de recirculación proveniente de las piscinas.	<ul style="list-style-type: none"> – No detiene los pelos – No pasa la cantidad suficiente de agua – Aparición de burbujas

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

Tabla 21-4. Fallos funcionales en tableros de control.

Componente	Función	Modos de fallo
Tablero de control	Permite el encendido, control y monitoreo de un sistema.	<ul style="list-style-type: none"> – Fallas en el suministro de potencia. – Fallas de componentes del circuito. – Problemas de temporización. – Problemas debidos a ruidos (interferencia). – Problemas mecánicos: Desperfectos en Interruptores, conectores, relevos, diodos, condensadores, reguladores de voltaje y otros.

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos19/diagnostico-de-fallas/diagnostico-de-fallas.shtml>.

4.2.4 Fase 3. Determinación de los modos de fallo o causas de cada uno de los fallos.

Tabla 18-4. Causas de los fallos funcionales en motores.

Modos de fallo	Causas
El motor no arranca	<ul style="list-style-type: none"> – Bobinado roto o quemado – Terminal de conexión del cable eléctrico de alimentación defectuoso – Fallo de alimentación del motor (no recibe corriente eléctrica) – Eje bloqueado por rodamientos dañados
Altas vibraciones	<ul style="list-style-type: none"> – Eje doblado – Rodamientos en mal estado – Desalineación con el elemento que mueve – Desequilibrio en rotor de la bomba o del motor – Acoplamiento dañado – Resonancias magnéticas debidas a excentricidades – Uno de los apoyos del motor no asienta correctamente
Salta el protector térmico	<ul style="list-style-type: none"> – Bobinado roto o quemado – Terminal defectuoso – Elemento de protección en mal estado – Térmico mal calibrado – Rodamientos en mal estado – El motor se calienta porque el ventilador se ha roto

Saltan los fusibles	<ul style="list-style-type: none"> – Fallo en el aislamiento (fase en contacto con la carcasa) – La puesta a tierra está en mal estado – Una de las fases está en contacto con tierra
Ruido excesivo	<ul style="list-style-type: none"> – Eje doblado – Rodamientos en mal estado – Rozamientos entre rotor y estator – Rozamientos en el ventilador – Mala lubricación de rodamientos (rodamientos “secos”)
Alta temperatura de la carcasa	<ul style="list-style-type: none"> – Rodamientos en mal estado – Suciedad excesiva en la carcasa – Ventilador roto – Lubricación defectuosa en rodamientos

Fuente: Weg. Manual de instalación y mantenimiento de motores eléctricos de inducción trifásicos. Anormalidades en servicio (51).

Tabla 19-4. Detección de los modos de fallo en motores.

Modos de fallo	Detección
El motor no arranca	No llega agua al filtro
Altas vibraciones	Monitoreo de condiciones
Salta el protector térmico	Se apaga el motor
Saltan los fusibles	Se apaga el motor
Ruido excesivo	Medidores
Alta temperatura de la carcasa	Cámara termografica

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

Tabla 20-4. Causa de los fallos funcionales en bombas centrifugas.

Modos de fallo	Causas
No bombea	<ul style="list-style-type: none"> – Entrada de aire por sello mecánico – Sentido de giro invertido – Impulsor obstruido – Entrada de aire por la tubería de aspiración
Caudal insuficiente	<ul style="list-style-type: none"> – Entrada de aire por la tubería de aspiración o por el sello mecánico – Válvula de retención demasiado pequeña – Válvula de retención obstruida – Impulsor obstruido
Presión insuficiente	<ul style="list-style-type: none"> – Sentido de giro invertido – Impulsor dañado – Sello mecánico defectuoso – Bomba mal confeccionada
No arranca	<ul style="list-style-type: none"> – Cable de alimentación interrumpido – Motor en corto circuito – Capacitor quemado – Baja tensión – Fusibles quemados

Consumo de energía excesivo	<ul style="list-style-type: none"> – Partes giratorias rozando – Sello mecánico defectuoso – Sello mecánico demasiado comprimido – Baja tensión – Bomba mal confeccionada
Perdida por el sello mecánico	<ul style="list-style-type: none"> – Sello mecánico defectuoso – Impulsor desbalanceado – Corta vida útil del sello mecánico – Sello mecánico mal armado – Sello mecánico demasiado comprimido
La bomba vibra o es ruidosa	<ul style="list-style-type: none"> – Válvula de retención demasiado pequeña u obstruida – Partes giratorias rozando – Impulsor dañado o desbalanceado – Excesivo empuje hidráulico – Excesivo ajuste de rodamientos – Suciedad y/o oxidación de los rodamientos
La bomba recalienta o engrana	<ul style="list-style-type: none"> – Partes giratorias rozando – Impulsor desbalanceado – Sello mecánico demasiado comprimido – Excesivo ajuste y/o falta de lubricación de los rodamientos – Suciedad y/o oxidación de los rodamientos
Saltan los fusibles	<ul style="list-style-type: none"> – Partes giratorias rozando – Motor en corto circuito – Capacitor quemado
Salta el protector térmico	<ul style="list-style-type: none"> – Partes giratorias rozando – Motor en corto circuito – Baja tensión – Protector térmico mal regulado – Bomba mal seleccionada

Fuente: Pompetravaini. Manual operativo de instalación, puesta en marcha y mantenimiento de las bombas centrífugas.

Tabla 21-5. Detección de los modos de fallo en bombas.

Modos de fallo	Detección
No bombea	No llega agua al filtro
Caudal insuficiente	Baja presión en el filtro
Presión insuficiente	Baja Presión en el filtro
No arranca	No bombea
Consumo de energía excesivo	Menor rendimiento
Perdida por el sello mecánico	Carcasa con humedad
La bomba vibra	Monitoreo de condiciones
La bomba recalienta o engrana	Cámara termografica
Saltan los fusibles	Se apaga la bomba
Salta el protector térmico	Se apaga la bomba

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

Tabla 22-4. Causas de fallos funcionales en calderos.

Modos de fallo	Causas
Fallas en el arranque	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo nivel de agua. - Falla del sistema de energía eléctrica - Interruptor manual defectuoso en posición off - Control de operación o controles de carácter limite defectuosos o descalibrados - Voltajes demasiado altos o bajos - Control principal de combustión apagado o defectuoso - Fusibles defectuosos en el gabinete de la caldera - Térmicos del motor del ventilador o del motor del compresor que saltan - Contactos o arrancadores eléctricos defectuosos - Motores del compresor y/o ventilador defectuosos - Mecanismos de modulación de fuego alto y bajo no se encuentran en la posición adecuado de bajo fuego y fallo en el fluido eléctrico.
Fallas en el encendido	<p>No hay ignición:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Falta de chispa, hay chispa pero no hay llama piloto - válvula solenoide a gas defectuosa - interruptor bajo fuego abierto. <p>Hay llama piloto, pero no hay llama principal:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Llama piloto inadecuada - Falla en el sistema de detección de llama - Falla en el suministro principal de combustible - Programador ineficaz. <p>Hay llama de bajo fuego, pero no de alto fuego:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Baja temperatura de combustible - Presión inadecuada de la bomba - Motor quemador deficiente - Articulación suelta o pegada <p>Falla de llama principal durante el arranque:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ajuste defectuoso de aire combustible - control de combustión o programador defectuoso. - Falla de llama durante la operación - Combustible pobre e inadecuado - Foto celda deficiente - Circuito limite abierto - Interruptor automático no funciona correctamente - Motores ocasionan sobrecargas - Control de combustión o programador defectuosos - Calibración de quemador incorrecta - Dispositivos de interconexión defectuosos o ineficaces

	<ul style="list-style-type: none"> – Condiciones de bajo nivel de agua – Falla en el suministro de energía eléctrica – Proporción aire combustible No funciona el motor del quemador. – Interruptor alto y bajo fuego en posición inadecuada – Motor no se mueve a bajo fuego durante la prepurga porque están sucios o abiertos los contactos del control de combustión – El motor es ineficaz (conexión eléctrica suelta, transformador del motor esta defectuoso).
Fallas en los materiales	<ul style="list-style-type: none"> – Por corrosión – Proceso de acción erosiva ejercida sobre la superficie interna de la caldera por la acción mecánica de materiales sólidos, abrasivos, transportados por el agua o los gases en circulación. La corrosión también se presenta por oxidación. – Por Sobrecalentamiento. Cuando los materiales de fabricación de la caldera son expuestos a altas temperaturas. – Soldadura y construcción defectuosa. – Implosión y explosión.

Fuente: Activa química. (2015). fallas en calderas. 01/05/2015, de Activa química

Tabla 23-4. Detección de modos de fallo en calderos.

Modos de fallo	Detección
Fallas en el arranque	No se calienta el agua
Fallas en el encendido	No se prende el quemador
Falla en los materiales	Corrosión excesiva

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

Tabla 24-4. Causa de fallos funcionales en ventiladores.

Modos de fallo	Causas
Ruido excesivo	<ul style="list-style-type: none"> – Rodamientos en mal estado – Mala lubricación de rodamientos (rodamientos “secos”) – Desbalance en el rotor – La turbina rosa la entrada
Vibración	<ul style="list-style-type: none"> – Desequilibrio – Desalineación – Holguras – Turbulencias – Problemas de anclaje – Resonancias – Eje doblado

Fuente: Preditec. (2015). Ventiladores y soplantes. 3/05/2015, de Preditec

Tabla 25-4. Detección de los modos de fallo en ventiladores.

Modos de fallo	Detección
Ruido excesivo	Medidores de ruido
Vibración	Monitoreo de condiciones

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

Tabla 26-4. Causa de fallos funcionales en el compresor.

Modos de fallo	Causas
Baja presión de descarga	<ul style="list-style-type: none"> – Mayor demanda que la capacidad del compresor – Anillos del pistón desgastados – Empaques defectuoso – Baja velocidad
Insuficiente capacidad	<ul style="list-style-type: none"> – Fugas excesivas – Alta presión de descarga – Velocidad incorrecta – Filtros de aire obstruidos – Anillos y pistones desgastados – Falla en el regulador de aire
Alta presión en el enfriador intermedio	<ul style="list-style-type: none"> – Rotura o fugas por la válvula de alta presión – Fugas o defectos en los empaques de los asientos de las válvulas – Manómetro defectuoso
Golpeteo	<ul style="list-style-type: none"> – Excesivo deposito de carbono – Rayado de los pistones o cilindro – Defectos en el lubricador – Materia extraña en el cilindro – Golpeteo del pistón en la cabeza del cilindro – Desprendimiento del pistón o del perno del pistón – Desgaste de las chumaceras del vástago – Separación de las chumaceras principales – Ralladuras de la cruceta o de las guías de la cruceta

Fuente: Antonio Nieto. (2014). Identificación y Evaluación de Fallas de Compresores. 28/04/2015.

Tabla 27-4. Detección de los modos de fallo en compresores.

Modos de fallo	Detección
Baja presión de descarga	No funciona el actuador
Insuficiente capacidad	No funciona el actuador
Alta presión en el enfriador intermedio	Manómetro
Golpeteo	Ruido anormal

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

Tabla 28-4. Causa de fallos funcionales en válvulas.

Modos de fallo	Causas
Fugas	<ul style="list-style-type: none"> – Falta de ajuste en las bridas – Falta de un adecuado sellado interno – Asiento de válvula dañado – Diafragma destruido
Corrosión	<ul style="list-style-type: none"> – Presencia de sustancias corrosivas que se forman con el cloro
Erosión	<ul style="list-style-type: none"> – Presencia de arena en el agua

Fuente: ITAR. Operación y mantenimiento de válvulas.

Tabla 29-4. Detección de los modos de fallo en válvulas.

Modos de fallo	Detección
Fugas	Presencia de humedad
Corrosión	Productos corrosivos
Erosión	Desgaste interno

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

Tabla 30-4. Causa de fallos en filtros de arena.

Modos de fallo	Causas
Arena o tierra regresa a la piscina	<ul style="list-style-type: none"> – Arena muy gastada o contaminada, se mueve con el tiempo cuando la presión de la bomba es mayor de 2HP. (Cambio de arena)
La presión del filtro se eleva de 8 a 10 psi (normal es 20 psi y puede llegar hasta 30 psi).	<ul style="list-style-type: none"> – Granulometría inadecuada de la arena. Frecuentemente se pone arena de un solo grosor, de entre 0,4 y 0,8 mm. Pero existen de varias medidas. Verificar lo que aconseja el fabricante. – Excesiva cantidad de arena – Falta de floculante en el agua
Aparición de burbujas	<ul style="list-style-type: none"> – Presencia de aire por insuficiente cantidad de agua

Fuente: Regaber. Filtro arena.

Tabla 31-4. Detección de modos de falla en filtros de arena.

Modos de fallo	Detección
Arena o tierra regresa a la piscina	Turbiedad del agua
La presión en el filtro se eleva	Manómetro
Aparición de burbujas	Insuficiente cantidad de agua

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

Tabla 32-4. Causa de fallos funcionales en los actuadores.

Modos de fallo	Causas
Desgaste y holguras excesivas	Presencia de polvo o suciedad entre elementos que se deslizan unos sobre otros.
No funciona el actuador	Cuerpos extraños en vía de aire
Presión de aire insuficiente	Fallas en el compresor Fugas

Fuente: Rotor FluidK Systems. Manual de instalación y mantenimiento. Detección de fallas (8).

Tabla 33-4. Detección de los modos de fallo en actuadores.

Modos de fallo	Detección
Desgaste y holguras excesivas	Poco movimiento del actuador
No funciona el actuador	Inmovilidad absoluta del actuador
Presión de aire insuficiente	Poco movimiento del actuador

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

Tabla 34-4. Causa de fallos funcionales en trampas de pelos.

Modos de fallo	Causas
No detiene los pelos	Retenedor de pelos roto o destruido.
No pasa la cantidad suficiente de agua	Trampa demasiado sucia
Aparición de burbujas	Bajo nivel de agua

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

Tabla 35-4. Detección de los modos de fallo en trampas de pelos.

Modos de fallo	Detección
No detiene los pelos	Pelos en el filtro de arena
No pasa la cantidad suficiente de agua	No llega agua al filtro de arena
Aparición de burbujas	Muy poca agua a la trampa de pelos

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

Tabla 36-4. Causa de los fallos funcionales en tableros de control.

Modos de fallo	Causas
Fallas en el suministro de potencia	Reguladores de voltaje defectuosos Diodos rectificadores abiertos o en corto Transformador defectuoso
Fallas de componentes del circuito.	Fuente de potencia averiada Reguladores de voltaje defectuosos Diodos rectificadores abiertos o en corto Condensadores del filtrado dañados Transformador defectuoso
Problemas de temporización	Incorrecta temporización de los circuitos Frecuencia de reloj inadecuada Retrasos de propagación

	Otras
Problemas debidos a ruidos	Señales de equipos cercanos que producen vibración
Efectos ambientales	Temperatura exceda los límites permisibles fijados por el fabricante. Acumulación de grasas, polvo, químicos o abrasivos en el aire puede ocasionar fallas de funcionamiento Vibraciones excesivas Corrosión de conectores, alambres quebrados o contactos de interruptores con exceso de acumuladores que impiden su accionamiento normal.
Problemas mecánicos	Desperfectos en interruptores, conectores, relevos y otros.

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos19/diagnostico-de-fallas/diagnostico-de-fallas.shtml>

Tabla 37-4. Detección de modos de fallo en tableros de control.

Modos de fallo	Detección
Fallas en el suministro de potencia	Multímetro
Fallas de componentes del circuito.	Multímetro
Problemas de temporización	Multímetro
Problemas debidos a ruidos	Multímetro
Efectos ambientales	Multímetro
Problemas mecánicos	Multímetro

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

En las tablas 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38 y 40 , se identifican las posibles causas de los fallos en los diferentes equipos que componen los diferentes sistemas del parque acuático. El origen de estas fallas en este tipo de equipamiento por lo general pueden ser: montajes inadecuados, falta de mantenimiento oportuno, condiciones ambientales y de servicio severas.

Es de vital importancia identificar las causas de los fallos, para poder tomar medidas que eviten que se produzcan y por lo tanto las consecuencias del fallo que es lo que se quiere evitar realmente.

En las tablas 23, 25, 27, 29, 31, 33, 35, 37, 39 y 41, se da a conocer la forma como se pueden detectar estos fallos o cuáles son las manifestaciones de un fallo en los diferentes equipos.

Vale la pena recordar que, no necesariamente el equipo debe quedar inutilizado para indicar que ha fallado, porque si no cumple su función satisfactoriamente o presenta riesgos para quienes lo operan, también se dice que ha fallado.

4.2.5 Fase 4. Estudio de las consecuencias de cada modo de fallo.

Un fallo funcional es la incapacidad de un elemento para realizar una función específica dentro de límites especificados. Los efectos de un fallo funcional (critico) son la disminución de la capacidad de funcionamiento de un elemento, riesgos para el personal y el medio ambiente.

Un fallo potencial es una condición definible y detectable que indica que un fallo funcional se producirá.

Tabla 38-4. Efectos de los fallos funcionales en motores.

Modos de fallo	Efectos	
	Otros componentes	Sistema
El motor no arranca	No funciona la bomba	No llega el agua a la piscina
Altas vibraciones	Desgaste prematuro de elementos	Mayor consumo de energía
Salta el protector térmico	No llega el agua al filtro	No llega el agua a la piscina
Saltan los fusibles	No llega el agua al filtro	No llega el agua a la piscina
Ruido excesivo	Peligro para la salud	Contamina el ambiente
Alta temperatura de la carcasa	Se pueden quemar bobinas	No llega agua a la piscina

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

Tabla 39-4. Efectos de los fallos funcionales en bombas.

Modos de fallo	Efectos	
	Otros componentes	Sistema
No bombea	No llega agua al filtro	No llega el agua a la piscina
Caudal insuficiente	Baja presión en el filtro	No llega el agua a la piscina
Presión insuficiente	No llega el agua al filtro	No llega el agua a la piscina
No arranca	No llega el agua al filtro	No llega el agua a la piscina

Consumo de energía excesivo	Aumento de costo de operación	Menor rendimiento
Perdida por sello mecánico	Presencia de corrosión	Presencia de corrosión
La bomba vibra o es ruidosa	Fallan elementos por fatiga	Se aflojan uniones ajustadas
La bomba recalienta o engrana	Se quema el protector térmico	Baja el rendimiento
Saltan los fusibles	No llega agua al filtro	No llega agua a la piscina
Salta el protector térmico	No llega agua al filtro	No llega agua a la piscina

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

Tabla 40-4. Efectos de los fallos funcionales en calderos.

Modos de fallo	Efectos	
	Otros componentes	Sistema
Fallas en el arranque	No funciona la bomba	No genera vapor
Fallas en el encendido	No se quema el combustible	No genera vapor
Falla en los materiales	Baja la conductividad	Menor rendimiento

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

Tabla 41-4. Efectos de los fallos funcionales en ventiladores.

Modos de fallo	Efectos	
	Otros componentes	Sistema
Ruido excesivo	Peligro para la salud	Contamina el ambiente
Vibración	Desgaste prematuro de elementos	Mayor consumo de energía

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

Tabla 42-4. Efecto de los fallos funcionales en compresores.

Modos de fallo	Efectos	
	Otros componentes	Sistema
Baja presión de descarga	No funciona el actuador	No se produce el efecto deseado
Insuficiente capacidad	No funciona el actuador	No se produce el efecto deseado
Alta presión en el enfriador intermedio	Elevación de temperatura	Menor rendimiento
Golpeteo	Desgaste de elementos	Mayor consumo de energía

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

Tabla 43-4. Efecto de los fallos funcionales en válvulas.

Modos de fallo	Efectos	
	Otros componentes	Sistema
Fugas	Contaminación	Corrosión
Corrosión	Deterioro superficial	Menor duración
Erosión	Deterioro interno	Menor duración

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

Tabla 44-4. Efecto de los fallos funcionales en filtros de arena.

Modos de fallo	Efectos	
	Otros componentes	Sistema
Arena o tierra regresa a la piscina	Arena de tamaño inadecuado	Contaminación
La presión en el filtro se eleva	Presencia de gran cantidad de impurezas	Menor rendimiento
Aparición de burbujas	Arena muy compactada	No llega el agua a la piscina

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

Tabla 45-4. Efecto de los fallos funcionales en actuadores.

Modos de fallo	Efectos	
	Otros componentes	Sistema
Desgaste y holguras excesivas	Falta de movimiento de la compuerta	No funciona el sistema de olas
No funciona el actuador	Falta de movimiento de la compuerta	No funciona el sistema de olas
Presión de aire insuficiente	Falta de movimiento de la compuerta	No funciona el sistema de olas

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

Tabla 46-4. Efecto de los fallos funcionales en trampas de pelos.

Modos de fallo	Efectos	
	Otros componentes	Sistema
No detiene los pelos	Pelos en el filtro de arena	Pelos en la piscina
No pasa la cantidad suficiente de agua	No llega el agua al filtro de arena	No llega el agua a la piscina
Aparición de burbujas	No llega el agua al filtro de arena	No llega el agua a la piscina

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

Tabla 47-4. Efecto de los fallos funcionales en tableros de control.

Modos de fallo	Efectos	
	Otros componentes	Sistema
Fallas en el suministro de potencia	No se encienden los equipos	No funciona
Fallas de componentes del circuito.	Se encienden parcialmente	No funciona
Problemas de temporización	Retrasos de funcionamiento	No funciona adecuadamente
Problemas debidos a ruidos	No se encienden los equipos	No funciona adecuadamente
Efectos ambientales	Corrosión y suciedad	No funciona adecuadamente
Problemas mecánicos	No se encienden los equipos	No funciona

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

En las tablas 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50 y 51, se determinan los efectos de estos fallos sobre otros componentes próximos y sobre el sistema en general. Se debe establecer una diferencia entre efecto y consecuencia.

Los efectos son los daños que se derivan de una causa. Las consecuencias son el resultado total de estos daños.

Por ejemplo: Una bomba vibra por efecto de un impulsor desbalanceado, a consecuencia de esto baja la eficiencia de la bomba o simplemente no bombea.

4.2.5.1 Estudio de la criticidad.- El análisis de criticidad es una técnica de fácil manejo y comprensión en el cual se establecen rangos relativos para representar las probabilidades y/o frecuencia de ocurrencia de eventos y sus consecuencias.

Ambas magnitudes, frecuencias y consecuencias, se registran en una matriz, diseñada en base a un código de colores que denotan la menor o mayor intensidad del riesgo relacionado con la instalación, sistema, equipo o elemento bajo análisis

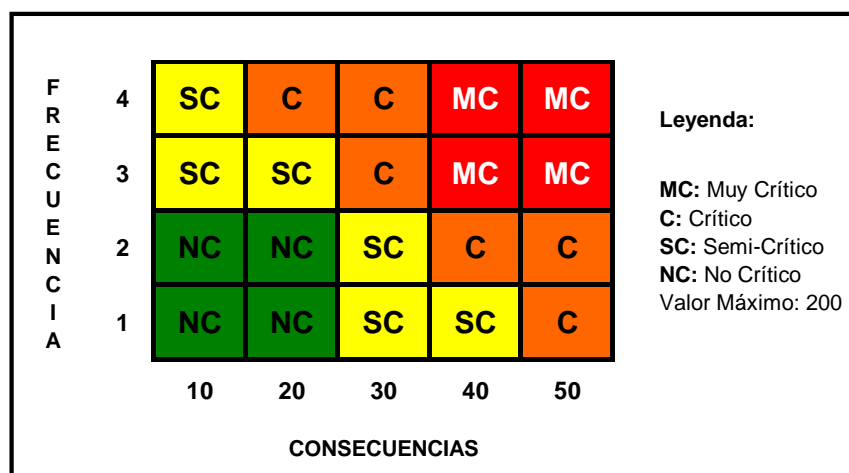


Figura 35-4. Matriz de criticidad.

Fuente: Jhon Moubray. Mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Tabla 48-4. Criterios de criticidad y su cuantificación.

CRITERIOS PARA DETERMINAR CRITICIDAD	CUANTF.
Frecuencias de Falla	
Mayor a 4 fallas/año	4
2-4 fallas/año	3
1-2 fallas/año	2
Mínimo de 1 falla/año	1
Impacto Operacional	
Parada inmediata de toda la empresa	10
Parada de toda la planta (recuperable en otras plantas)	6
Impacto a niveles de producción o calidad	4
Repercute a costos operacionales adicionales (indisponibilidad)	2
No genera ningún efecto significativo sobre las demás operaciones	1
Flexibilidad Operacional	
No existe opción de producción y no hay forma de recuperarlo	4
Hay opción de repuesto compartido	2
Función de repuesto disponible	1
Costos de Mantenimiento	
Mayor o igual a \$20.000	2
Menor o inferior a \$20.000	1
Impacto en la Seguridad Ambiental y Humana	
Afecta la seguridad humana tanto externa como interna	8
Afecta el ambiente produciendo daños irreversibles	6
Afecta las instalaciones causando daños severos	4
Provoca daños menores (accidentes o incidentes)	2
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas	1
No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o ambiente	0

Fuente: [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/13353/1/TESIS%20COMPLETA%20\(FINAL\).doc](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/13353/1/TESIS%20COMPLETA%20(FINAL).doc)

En cuanto a la operación del parque acuático, se puede decir que un fallo es *crítico*, si el fallo supone una parada de un sistema, una disminución del rendimiento o de la capacidad operativa, y además, existe cierta probabilidad de que el fallo pudiera ocurrir.

Si la posibilidad es muy baja, aunque pueda suponer una parada o afecte a la potencia o al rendimiento, el fallo debe ser considerado como importante (semi-crítico). Y por último, el fallo será tolerable si no afecta a la operación, o lo hace de modo despreciable (No crítico). (Viteri E., 2011, ESPOL)

El análisis de criticidad, se complementará con el análisis de los efectos del modo de fallo (FMEA) que es un proceso que se utiliza para determinar la función de cada

elemento, los fallos funcionales asociados con cada función, el modo de fallo que tiene el potencial de causar cada fallo funcional, el efecto y la gravedad de cada modo de fallo.

4.2.5.2 Frecuencia de fallas de los equipos existentes en el parque acuático.- Para los calderos, se asume según la información de los técnicos que realizaban el mantenimiento que se pueden producir de 2 a 4 fallas por año, lo que se garantiza por la presencia del McDONELL, a lo que corresponde una cuantificación de 3.

Tabla 49-4. Valoración de criterios para determinar la criticidad en los equipos del parque Acuático los Elenes.

Equipos u accesorios	Frecuencia de fallas	Flexibilidad operacional	Impacto operacional	Impacto de seguridad, ambiente e higiene	Costo Mantenimiento
Caldera	3	10	4	4	1
Bomba	4	10	4	2	1
Motor	4	10	4	2	1
Filtro HRV	3	6	2	1	1
Válvula	3	10	2	2	1
Compresor	4	10	4	2	1
Actuador	4	10	4	2	1
Ventilador	4	10	4	2	1
Trampa de pelos	3	6	2	1	1
Tableros de control	3	6	2	1	1

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

Para los motores, bombas, compresor, ventilador y actuador se asume que se pueden producir más de 4 fallas al año, a lo que corresponde una cuantificación de 4. Para el filtro de arena, válvulas, trampas de pelo y tableros de control, se asume que se pueden producir de 2 a 4 fallas al año, a lo que corresponde una cuantificación de 3.

Posteriormente se procede a determinar la criticidad, la misma que puede ser calculada por la siguiente relación:

$$\text{Criticidad Total} = \text{Frecuencia} * \text{Consecuencia} \quad (2)$$

Finalmente, se determina la consecuencia que puede ser calculada mediante la relación (3):

$$\text{Consecuencia} = (\text{Impacto_Operacional} * \text{Flexibilidad}) + \text{Costo_Mtto.} + \text{Impacto_SAH} \quad (3)$$

A continuación, se procede a calcular las consecuencias, mediante la ecuación (3) y la criticidad de cada uno de los equipos considerados, mediante la ecuación (2).

a. Cálculo de consecuencia y criticidad para las calderas.

$$\text{Consecuencia} = (4)(10) + 1 + 4 = 45$$

$$\text{Criticidad total} = (3)(45) = 135$$

b. Cálculo de consecuencia y criticidad para las bombas.

$$\text{Consecuencia} = (4)(10) + 1 + 2 = 43$$

$$\text{Criticidad total} = (4)(43) = 172$$

c. Cálculo de consecuencia y criticidad para los motores.

$$\text{Consecuencia} = (4)(10) + 1 + 2 = 43$$

$$\text{Criticidad total} = (4)(43) = 172$$

d. Cálculo de consecuencia y criticidad para los filtros de arena.

$$\text{Consecuencia} = (2)(6) + 1 + 1 = 14$$

$$\text{Criticidad total} = (3)(14) = 42$$

e. Cálculo de consecuencia y criticidad para las válvulas.

$$\text{Consecuencia} = (2)(10)+1+2 = 23$$

$$\text{Criticidad total} = (3)(23) = 69$$

f. Cálculo de consecuencia y criticidad para el compresor.

$$\text{Consecuencia} = (4)(10)+1+2 = 43$$

$$\text{Criticidad total} = (4)(43) = 172$$

g. Cálculo de consecuencia y criticidad para el actuador neumático.

$$\text{Consecuencia} = (4)(10)+1+2 = 43$$

$$\text{Criticidad total} = (4)(43) = 172$$

h. Cálculo de consecuencia y criticidad para el ventilador.

$$\text{Consecuencia} = (4)(10)+1+2 = 43$$

$$\text{Criticidad total} = (4)(43) = 172$$

i. Cálculo de consecuencia y criticidad para la trampa de pelos.

$$\text{Consecuencia} = (2)(6)+1+1 = 14$$

$$\text{Criticidad total} = (3)(14) = 42$$

j. Cálculo de consecuencia y criticidad para los tableros de control.

$$\text{Consecuencia} = (2)(6)+1+1 = 14$$

$$\text{Criticidad total} = (3)(14) = 42$$

Se puede ver que la mayor criticidad está en los motores, bombas, compresor, ventilador y actuador, porque si estos no funcionan por algún motivo, los sistemas de

los que forman parte salen de servicio. El caldero les sigue en criticidad, pero si este no funciona la piscina puede seguir brindando servicio con el agua fría.

Es semi-critica, en el caso de filtros de arena, válvulas, trampas de pelos y tableros de control, lo que significa que estos elementos son importantes, pero que en caso de algún fallo de ellos, el sistema puede continuar funcionando con un menor rendimiento.

Luego de realizados los cálculos de consecuencias y con el valor de frecuencias asignado a cada equipo considerado, se ubican los valores correspondientes en la matriz de criticidad y se determina su grado de criticidad. Este valor es importante porque define el grado de importancia que tiene cada equipo dentro del sistema analizado.

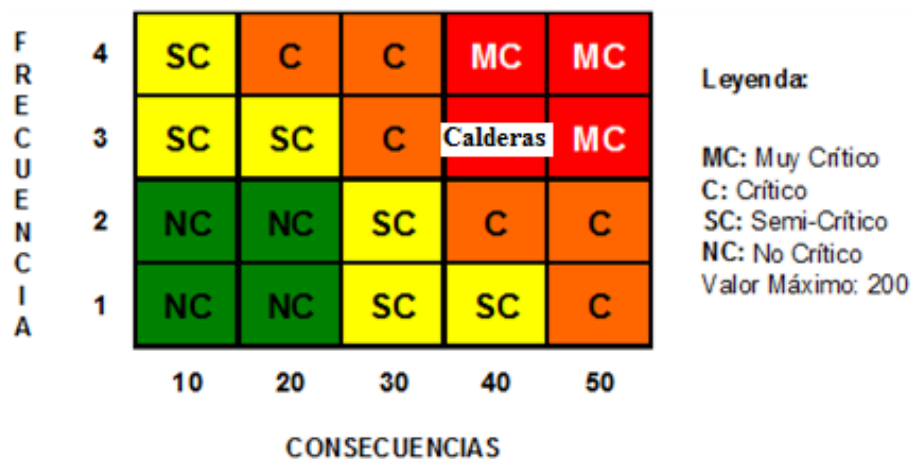


Figura 36-4. Criticidad de las calderas.

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

De la figura 36, se determina que el grado de criticidad de las calderas es muy crítico, no porque sus fallos representen peligro para las personas y medio ambiente, sino porque son vitales para el funcionamiento del sistema.

Si el caldero no funciona queda fuera de servicio la piscina de agua temperada, sauna, turco e hidromasajes, lo cual sería perjudicial para el parque acuático y por ende su rentabilidad.

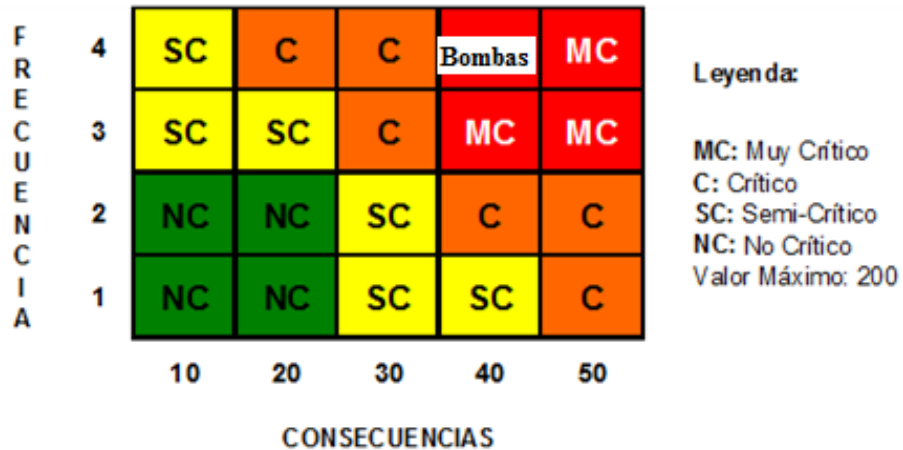


Figura 37-4. Criticidad de las bombas.

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

De la figura 37, se determina que el grado de criticidad de las bombas es muy crítico, por la misma razón expuesta anteriormente. Un sistema sin bombas no puede operar y queda inmediatamente fuera de servicio.

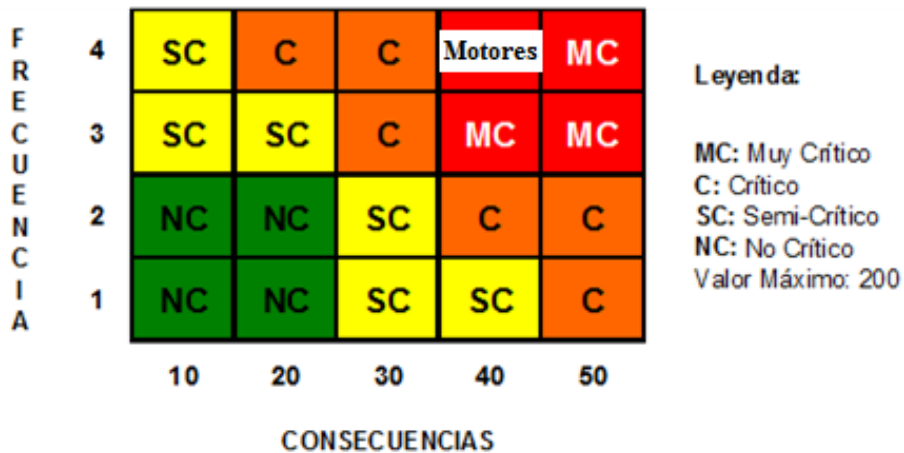


Figura 38-4. Criticidad de los motores.

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

De la figura 38, se determina que el grado de criticidad de los motores es muy crítico, de igual forma que los dos casos anteriores.



Figura 39-4. Criticidad de los filtros de arena.

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

De la figura 39, se determina que el grado de criticidad de los filtros es semi-critico, porque si bien es cierto afectan el normal funcionamiento del sistema, pero con una operación de limpieza emergente, pueden volver a su estado de normalidad.

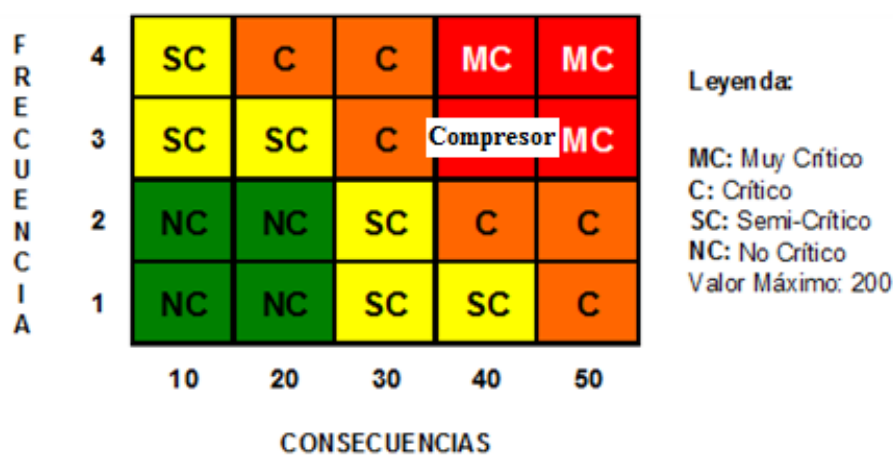


Figura 40-4. Criticidad del compresor.

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

De la figura 40, se determina que el grado de criticidad del compresor es muy crítico, no porque su fallo represente peligro para las personas y medio ambiente, sino porque es vital para el funcionamiento del sistema del que forma parte.

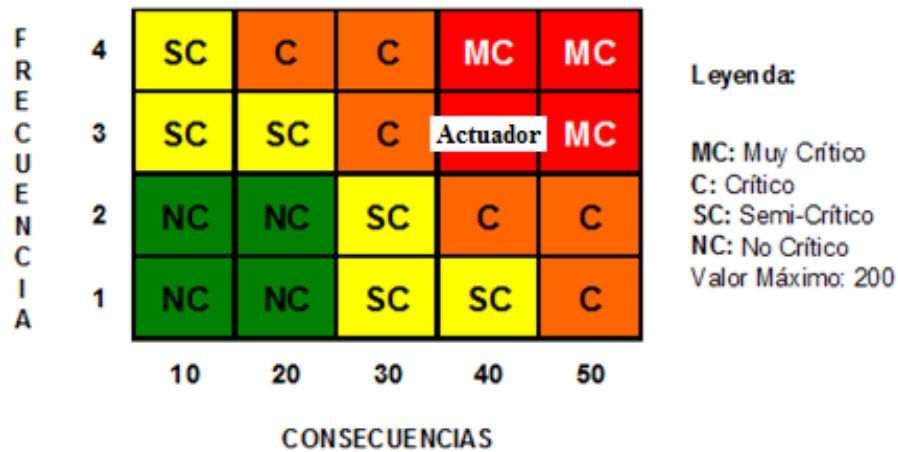


Figura 41-4. Criticidad del actuador neumático.

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

De la figura 41, se determina que el grado de criticidad de los actuadores neumáticos es muy crítico, por la misma razón expuesta anteriormente. No se pueden producir los diferentes tipos de olas, que son el atractivo de esa piscina.



Figura 42-4. Criticidad del ventilador.

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

De la figura 42, se determina que el grado de criticidad del ventilador es muy crítico, por la misma razón expuesta anteriormente. No existe la corriente de aire que produce el movimiento de las olas en esta piscina.

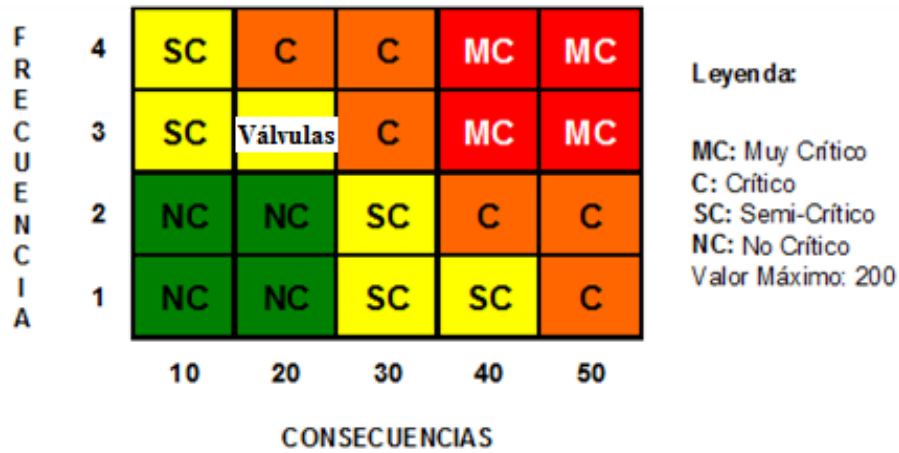


Figura 43-4. Criticidad de las válvulas.

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

De la figura 43, se determina que el grado de criticidad de las válvulas es semi crítico, porque si bien es cierto su fallo o fugaz afecta al normal funcionamiento del sistema, pero con una operación de limpieza o cambio de empaques pueden volver a su estado de normalidad.

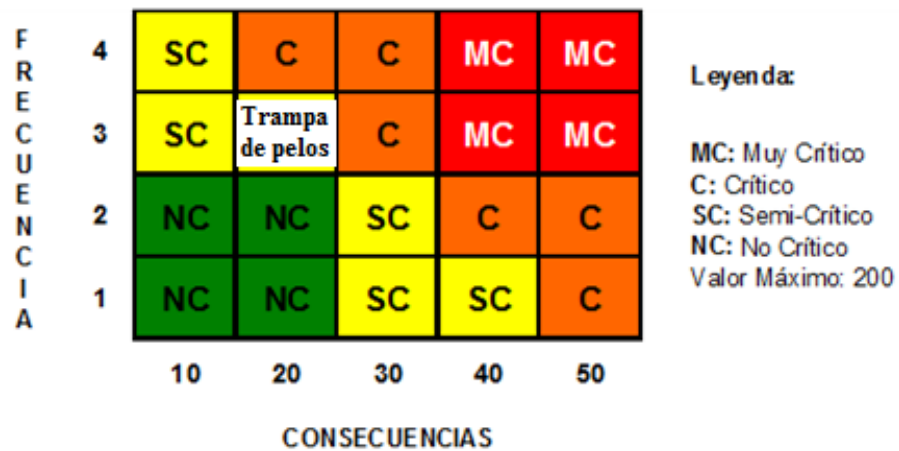


Figura 44-4. Criticidad de la trampa de pelos.

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

De la figura 44, se determina que el grado de criticidad de las trampas de pelos es semi-critico, porque si bien es cierto su fallo afecta al normal funcionamiento del sistema, pero con una operación de limpieza adecuada pueden volver a su estado de normalidad.

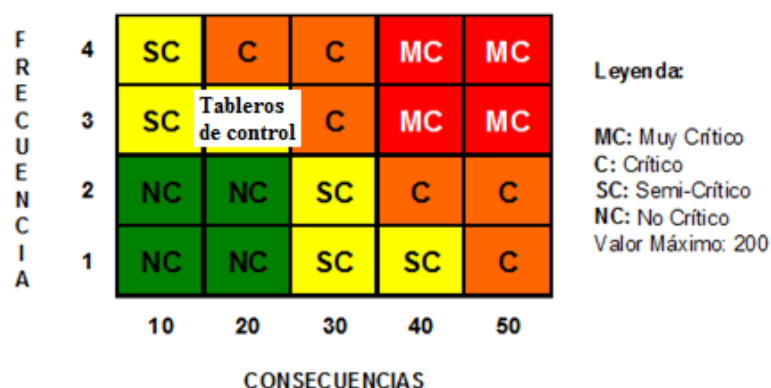


Figura 45-4. Criticidad de los tableros de control.

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

De la figura 45, se determina que el grado de criticidad de los tableros de control es semi-critico, porque si bien es cierto su fallo afecta el normal funcionamiento del sistema, pero con una operación revisión, mantenimiento y sustitución de algún elemento que se encuentre dañado, pueden volver a su estado de normalidad.

4.2.5.3 Análisis de los efectos del modo de fallo (FMEA).- Como, ya se conoce, la función de cada equipo o elemento, los modos de fallo, las causas de cada modo de fallo y los efectos sobre otros componentes y sobre el sistema. Se procede a determinar el índice de prioridad de riesgo (IPR).

Tabla 50. Comparación resultados de criticidad del método FMEA y de la matriz.

Equipos u accesorios	Método FMEA				Método de la matriz de criticidad
	Frecuencia (F)	Gravedad (G)	Probabilidad de detección (D)	IPR	
Caldera	6	6	7	252	Muy critico
Bomba	5	5	5	125	Muy critico
Motor	5	5	5	125	Muy critico
Filtro HRV	4	4	4	64	Semi-critico
Válvula	4	4	4	64	Semi-critico
Compresor	5	5	5	125	Muy critico
Actuador	5	5	5	125	Muy critico
Ventilador	5	5	5	125	Muy critico
Trampa de pelos	4	4	4	64	Semi-critico
Tableros de control	4	4	4	64	Semi-critico

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

Para determinar el índice de prioridad de riesgo (IPR), a partir de la tabla 3, se estima la frecuencia de fallo; de la tabla 4, la gravedad y de la tabla 5, la probabilidad de que el fallo sea detectado. Utilizando la ecuación (1), se procede a su determinación.

De la tabla 54, se puede apreciar que en los dos métodos, los índices de criticidad mayores corresponden a la caldera, seguido por la bomba, el motor, el compresor, el ventilador y el actuador. Los índices de los filtros, válvulas, trampa de pelos y tableros de control es semi-critico.

4.2.6 Fase 5. Determinación de las medidas preventivas que eviten o atenúen los efectos de las fallas.- Una vez determinados los modos de fallo de los diferentes sistemas que componen el parque acuático "Los Elenes", sus causas y consecuencias. El siguiente paso es determinar las medidas preventivas que permitan evitar el fallo o bien minimizar sus efectos. Las medidas preventivas que se deben tomar pueden ser:

4.2.6.1 Tareas de mantenimiento.- Dentro de las tareas que se recomiendan en estos casos se tienen:

Inspecciones visuales.- Las inspecciones visuales consisten en la observación de los equipos, tratando de identificar posibles problemas detectables a simple vista. Los problemas habituales suelen ser: ruidos anormales, vibraciones extrañas y fugas de aire, agua o aceite, comprobación del estado de pintura y observación de signos de corrosión. Estas inspecciones debido a su sencillez y economía se les debe realizar diariamente y a todo el equipamiento de cada uno de los sistemas que componen el parque acuático "Los Elenes".

Lubricación.-La lubricación es una de las tareas más importantes en la conservación de la maquinaria. La lubricación está presente en absolutamente todos los programas de mantenimiento preventivo de cualquier industria o empresa. Está demostrado que la buena lubricación de las máquinas y equipos hace que éstas funcionen de manera óptima. Una Máquina con falta de lubricación empieza por brindar un trabajo deficiente, ruidoso y poco a poco van apareciendo pequeños desajustes y desgastes que acaban por producir averías severas. La lubricación se la debe realizar en cojinetes de bombas,

motores, ventiladores y rodets o impulsores, que existen en casi todos los sistemas del parque acuático.

Verificaciones del correcto funcionamiento.- Todos y cada uno de los equipos deben someterse a las siguientes verificaciones:

- Inspección visual de los equipos para determinar fugaz.
- Limpieza externa e interna de los equipos para evidenciar cambio en olores.
- Estado de la lubricación.
- Control de niveles de agua, aceite, presión y temperatura.
- Verificación del funcionamiento de los equipos.
- Determinación de niveles de ruido.
- Diagnóstico del funcionamiento de los equipos.
- Verificación termografica para detectar zonas calientes que representan la posibilidad de fallos.
- Monitoreo y análisis de vibraciones en ejes, hélices y rodamientos.
- Presencia de fisuras o agrietamientos.

Tabla 51-4. Verificaciones recomendadas a los diferentes equipos.

	Bombas	Motores	Calderos	Ventiladores	Compresores	Válvulas	Filtros de arena	Actuadores	Tableros de control
Inspección Visual	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Lubricación	x	x		x	x			x	
Monitoreo y análisis de vibraciones	x	x		x	x			x	
Determinar fugas	x	x	x			x	x		
Análisis del ruido	x	x							
Análisis de olores excesivos	x	x	x	x	x				x
Análisis de calor		x	x	x	x			x	x
Niveles de presión	x		x		x			x	
Líquidos penetrantes	x		x	x	x	x			
Medición de espesores			x	x	x	x	x	x	
Termografía	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Evaluación rendimiento	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Nivel de agua	x		x			x	x		
Otros									

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

Tareas condicionales.- Se realizan dependiendo del estado en que se encuentre el equipo. No es necesario realizarlas si el equipo no da síntomas de encontrarse en mal estado. Estas tareas pueden ser:

- Limpiezas condicionales, si el equipo da muestras de encontrarse sucio. Este es el caso, de motores y bombas.
- Ajustes condicionales, si el comportamiento del equipo refleja un desajuste en alguno de sus parámetros, como desbalanceo en el ventilador o ruido fuerte en la bomba. Ventiladores y motores deben ser balanceados conforma a la norma ISO std 1940/1-(1986).
- Cambio de piezas, si tras una inspección o verificación, se observa que es necesario realizar la sustitución de algún elemento, cambios de sellos en válvulas debido a fugas, cambio de rodamientos cuando estos se vuelven muy ruidosos.

Tareas sistemáticas (o cíclicas).- Son aquellas que se realizan periódicamente:

- Limpiezas. Que deben realizarse diariamente antes del encendido de los equipos.
- Ajustes. Semanalmente y verificaciones.
- Sustitución de piezas. Cuando las condiciones lo ameriten.

Mantenimiento cero horas (Overhaul).- El mantenimiento cero horas es el conjunto de tareas cuyo objetivo es revisar los equipos a intervalos programados o bien antes de que aparezca algún fallo, o cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido de manera que resulta arriesgado hacer previsiones sobre su capacidad productiva. Dicha revisión consiste en dejar el equipo a cero horas de funcionamiento, es decir, como si el equipo fuera nuevo. En estas revisiones se sustituyen o se reparan todos los elementos sometidos a desgaste.

Para realizar un buen trabajo de predicción de fallas, es importante contar con equipos de apoyo como una cámara termografica y un medidor de vibraciones. La Termografía infrarroja es una técnica no destructiva y sin contacto, por medio de la cual, se hace

visible la radiación termal o energía infrarroja que un cuerpo emite o refleja. (Grupo Alava., 2015, Guía de Termografía para mantenimiento predictivo)

Esta cámara permitiría detectar problemas de falta de lubricación, errores de alineación entre el eje de motores y bombas, motores recalentados, rodamientos o cojinetes calientes, bombas sobrecargadas, ejes de motor recalentados, problemas de disipación de calor, desgaste en el contacto de escobillas y corto circuitos.

Por otra parte, el medidor de vibración puede ser usado para detectar ruidos en máquinas, como por ejemplo, en rodamientos, válvulas, ventiladores, bombas y ejes. Esto convierte al medidor de vibración en una herramienta óptima para la supervisión de ruidos y vibraciones.

Como resultado del análisis correspondiente, se elabora la “Hoja de Decisión RCM”, en la cual para cada modo de falla se define la actividad de mantenimiento correspondiente. En las figuras 46 y 47, se muestra el diagrama de decisión RCM de tareas (ver Anexo C).

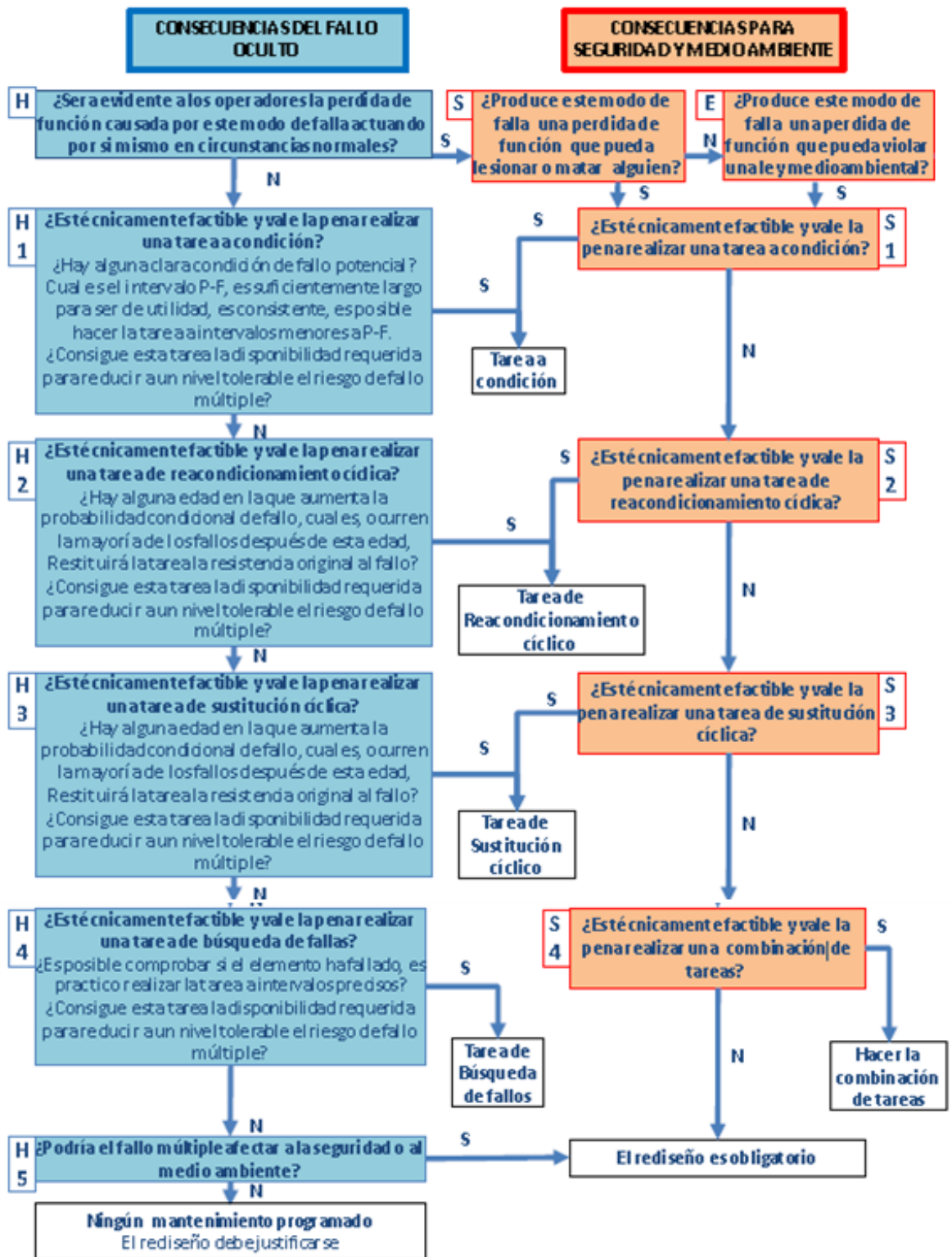


Figura 46-4. Diagrama de decisión RCM (parte 1).

Fuente: Gangi Sergio y otros. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad: Ejemplo de Aplicación en una Industria Farmacéutica.

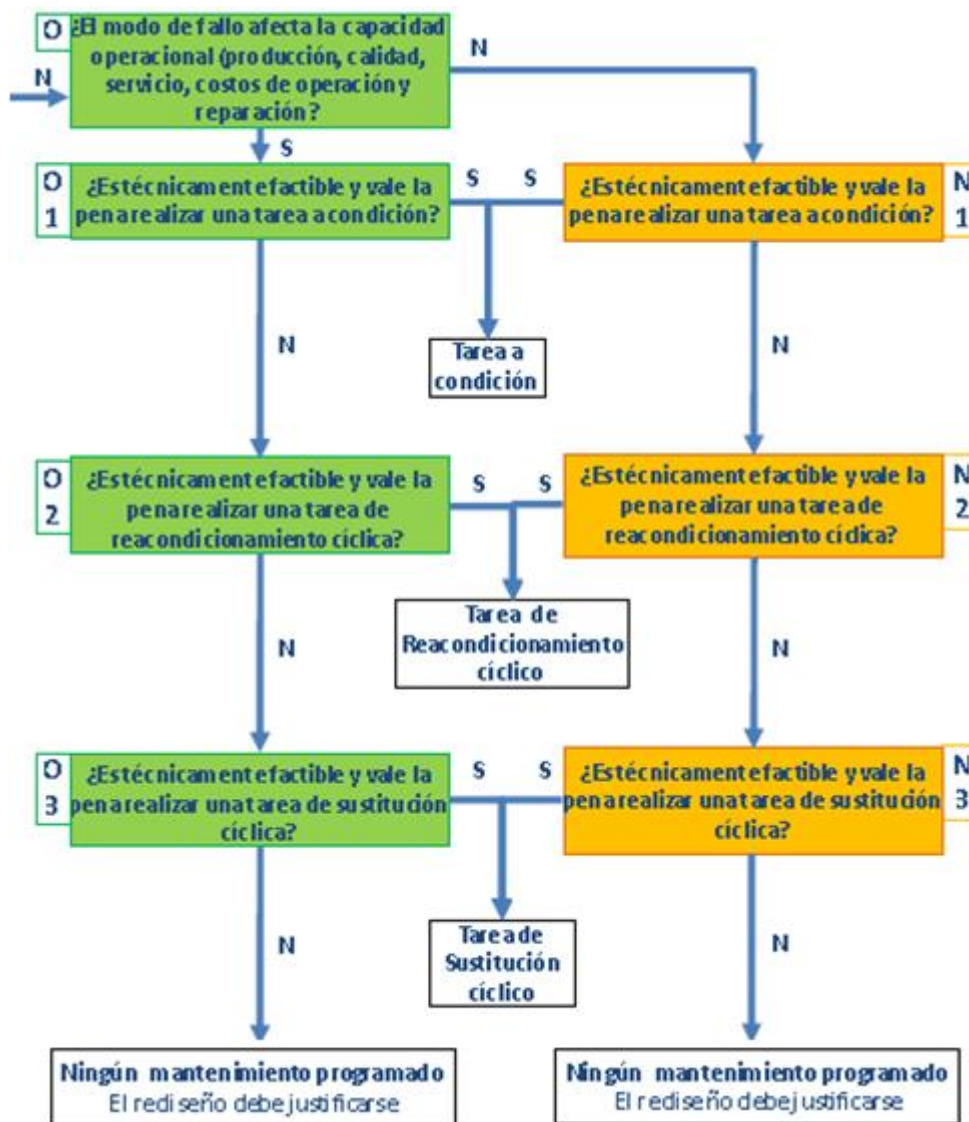


Figura 47-4. Diagrama de decisión RCM (parte 2).

Fuente: Gangi Sergio y otros. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad: Ejemplo de Aplicación en una Industria

A partir de la Hoja de Información de fallos y utilizando el “Diagrama de Decisión RCM” (Figuras 46 y 47), a través de una secuencia lógica de análisis, se obtiene el listado de las tareas de mantenimiento a desarrollar. Para cada Fallo de Función establecido en la Hoja de Información, se recorre el Diagrama de Decisión desde la parte superior izquierda hacia la parte derecha y hacia abajo respondiendo a las preguntas planteadas en dicho diagrama (Moubray, 1997).

Este diagrama presenta las siguientes características:

Se trata de una representación gráfica que considera los fallos clasificados en ocultos (H) y evidentes (E), que indica convenientemente el tipo de tarea, o tareas, a desarrollar en función de las consecuencias. Establece cuatro tipo de consecuencias y según el orden de importancia son: para la seguridad (S), para el medio ambiente (E), operacionales (O) y no operacionales (N).

Para cada fallo de función establecido en la hoja de información, se recorre el Diagrama de decisión desde la parte superior izquierda hacia la parte derecha y hacia abajo, respondiendo a las preguntas planteadas en dicho diagrama (figura 46 y 47).

Por ejemplo: Mientras está en funcionamiento, el motor de la bomba debe tener un sonido suave y no debe calentarse excesivamente. El ruido, vibración y calor excesivos indican problemas graves, como falla en los rodamientos, falta de alineación del eje, cavitación de la bomba, desgaste del impulsor o avería del motor. El calor, el olor de la quema de la empaquetadura representan problemas que incluyen fallas en las bobinas del motor, energía deficiente o excesiva, conexiones flojas y deficientes en el sistema de control del motor.

Finalmente se establece el “Plan de Mantenimiento” resultante de la aplicación del método, en un formato lo más simple posible, donde se especifica el listado de tareas de mantenimiento, su frecuencia de implementación y la fecha estimada de ejecución.

Tabla 52-4. Actividades mínimas de un plan de gestión del mantenimiento.

PLAN DE MANTENIMIENTO RCM				
Sistema:			Fecha Inspección:	Tipo de verificaciones:
Nombre del técnico:			Fecha próxima inspección:	
Código	Equipo	Tipo de falla	Causas	Actividad sugerida

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

Por ejemplo: Se va a realizar la inspección de una bomba en el sistema de Toboganes, en el examen visual todo parece perfecto, pero se escucha una vibración y ruido excesivo, con el medidor de vibraciones se verifica que el problema es un desbalanceo del impulsor, la actividad siguiente será desmontar el impulsor para su balanceo, pero si el daño es más severo se debe reemplazarlo.

Tabla 53-4. Ejemplo de la utilización de la tabla de actividades mínimas de un plan de gestión de mantenimiento.

PLAN DE MANTENIMIENTO RCM					
Sistema: Toboganes			Fecha Inspección:		Tipo de verificaciones: Examen visual y medición de vibraciones
Nombre del técnico:			Fecha próxima inspección:		
Código	Equipo	Tipo de falla	Causas		Actividad sugerida
TB-V1	Bomba	Vibración y ruido excesivo	Válvula de retención obstruida		Desmontar y lavarla
			Impulsor obstruido		Desmontar y lavarla
			Impulsor desbalanceado	x	Desmontar para su balanceo o reemplazarlo
			Excesivo empuje hidráulico		Regular la válvula de ingreso a la bomba
			Excesivo ajuste de rodamientos		Aflojar los rodamientos
			Suciedad y oxidación en rodamientos		Limpiar los rodamientos

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

En el anexo D, se presenta una colección de formatos para la recopilación de datos iniciales, inspecciones, tareas de mantenimiento y resultados.

4.2.6.2 Tareas de mantenimiento procedentes del diagrama de decisión RCM.- La aplicación del diagrama de decisión RCM, se explica con los siguientes ejemplos:

Ejemplo 1:

Equipo: Bomba

Fallo funcional: No bombea

Se ingresa por la parte superior del diagrama de decisiones RCM (figura 46), en la columna "consecuencia de fallos ocultos" y se encuentra la pregunta:

¿Será evidente a los operadores la pérdida de función causada por este modo de falla actuando por sí mismo en circunstancias normales?

La respuesta es SI.

Lo cual conduce a la columna denominada "Consecuencias para seguridad y medio ambiente", subcolumna (S) en la que se encuentra la pregunta:

¿Produce este modo de falla una pérdida de función que pueda lesionar o matar a alguien?

La respuesta es NO.

Lo cual conduce en la misma columna denominada "Consecuencias para seguridad y medio ambiente", subcolumna (E) en la que se encuentra la pregunta:

¿Produce este modo de falla una pérdida de función que pueda violar una ley medio ambiental?

La respuesta es NO.

Lo cual conduce a la columna denominada "Consecuencias operacionales", subcolumna (O) en la que se encuentra la pregunta:

¿El modo de fallo afecta la capacidad operacional, producción, calidad, servicio, costos de operación y reparación?

La respuesta es SI.

Lo cual nos conduce en la misma subcolumna al nivel (O1), en la que se encuentra la pregunta:

¿Es técnicamente factible y vale la pena realizar una tarea a condición?

La respuesta es SI y se debe realizar tareas a condición.

Tareas a condición a realizar en este caso, según el modo de fallo:

- Limpiar el impulsor.
- Verificar el sentido de giro del impulsor y ajustar correctamente.

- Desmontar y cambiar el impulsor de ser necesario.
- Verificar que no entre aire por la tubería de aspiración.

Cada una de las tareas deben ser evaluadas, según los requisitos expuestos en la norma SAE JA 1011, para determinar si son apropiadas, factibles técnicamente y su costo conveniente.

Ejemplo 2:

Equipo: Caldero.

Fallo funcional: Falla en los materiales.

Se ingresa por la parte superior del diagrama de decisiones RCM (figura 46) en la columna "consecuencia de fallos ocultos" y se encuentra la pregunta:

¿Será evidente a los operadores la pérdida de función causada por este modo de falla actuando por sí mismo en circunstancias normales?

La respuesta es NO.

Lo cual permite descender en la misma columna denominada "Consecuencias de fallos ocultos", al subnivel (H 1), en la que se encuentra la pregunta:

¿Es técnicamente factible y vale la pena una tarea a condición?

La respuesta es NO.

Lo cual permite descender en la misma columna denominada "Consecuencias de fallos ocultos", al subnivel (H 2), en la que se encuentra la pregunta:

¿Es técnicamente factible y vale la pena una tarea de reacondicionamiento?

La respuesta es SI y se debe realizar tareas de reacondicionamiento cíclico o sistemáticas.

Tareas de reacondicionamiento cíclico:

- Análisis químico del agua
- Medición del pH del agua
- Retirar las incrustaciones de las superficies en contacto con el agua

- Retirar el hollín de las superficies con contacto con el fuego

Cada una de las tareas deben ser evaluadas, según los requisitos expuestos en la norma SAE JA 1011, para determinar si son apropiadas y factibles técnicamente.

4.2.6.3 Determinación de la frecuencia de las tareas de mantenimiento.- Un vez determinadas las tareas de mantenimiento, es necesario determinar con qué frecuencia es necesario realizarlas.

Tabla 54-4. Frecuencia de las tareas de mantenimiento de motores eléctricos.

Actividades	Diarias	Semanales	Mensuales	Semestrales	Anuales
Verificar alineación del motor con la bomba			x		
Verificar estado físico del eje			x		
Verificar temperatura de cojinetes		x			
Lubricación de cojinetes			x		
Lectura de voltaje y amperaje			x		
Verificar elementos térmicos			x		
Revisar caja o cuerpo			x		
Limpieza del arrancador			x		
Limpieza de interruptor de seguridad			x		

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

Tabla 55-4. Frecuencia de las tareas de mantenimiento de bombas centrífugas.

Actividades	Diarias	Semanales	Mensuales	Semestrales	Anuales
Verificar alineación de la bomba con el motor			x		
Verificar estado físico del eje y de manguitos			x		
Verificar temperatura de cojinetes		x			
Lubricación de cojinetes			x		
Empacar prensa estopa			x		
Revisar impulsor y de ser necesario cambiarlo.				x	
Revisar caja o cuerpo				x	
En caso de fugas cambiar de empaques o sellos de cierre					x
Verificar que opere debidamente en la succión la válvula de pie (Check con rejilla) para evitar que se			x		

queme el motor.]					
Verificar que la temperatura del agua que succiona	X				

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

Tabla 56-4. Frecuencia de las tareas de mantenimiento de Calderos.

Actividades	Diarias	Semanales	Mensuales	Semestrales	Anuales
Verificar nivel de agua	X				
Purgar: caldera, columna indicadora	X				
Tratar el agua	X				
Medición de presión	X				
Verificar adecuado cierre de válvula de combustible		x	x		
Verificar filtraciones de aire o combustible		x	x		
Verificar luces indicadores y alarmas		x	x		
Controles limitadores de operación		x	x		
Controles de seguridad y conexiones		x	x		
Filtraciones, ruido, vibraciones y condiciones anormales		x	x		
Inspeccionar quemador, fuga de gases de combustión y puntos calientes			x		
Condiciones de combustión			x		
Verificar estado del refractario				x	
Verificar componentes eléctricos				x	
Limpiar: Llave de bajo nivel de agua, bomba de aceite, colador y filtro, depurador de aire y separador aire/aceite y alineación de acople del compresor.				x	
Inspeccione superficie interior del recipiente					x
Limpie: Superficie del hogar y conductos					x
Mantenimiento del McDONELL					x

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

Tabla 57-4. Frecuencia de las tareas de mantenimiento de ventiladores.

Actividades	Diarias	Semanales	Mensuales	Semestrales	Anuales
Inspeccionar periódicamente las condiciones de limpieza del motor.			x		
Eliminar los depósitos de polvo o incrustaciones sobre el motor eléctrico.			x		
Inspección y mantenimiento del rodete o turbina					x
Inspección y mantenimiento de los rodamientos				x	

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

Tabla 58-4. Frecuencia de las tareas de mantenimiento de compresores.

Actividades	Diarias	Semanales	Mensuales	Semestrales	Anuales
Comprobación filtro de aspiración		x			
Soplar filtro de aspiración			x		
Cambiar filtro de aspiración					x
Control de nivel de aceite	x				
Cambio de aceite (mineral)					x
Verificación del estado de la(s) válvula(s) de seguridad					x
Comprobar las uniones atornilladas					x
Verificación del manómetro su estado y funcionalidad.					x

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

Tabla 59-4. Frecuencia de las tareas de mantenimiento de válvulas.

Actividades	Diarias	Semanales	Mensuales	Semestrales	Anuales
Cambios de empaquetadura o sellos de asiento				x	
Inspección de las fugas en el vástago			x		
Para reparaciones desmontarla y colocar una de repuesto (rectificación de asientos)					x
Lubricación de la rosca del vástago			x		
Ajuste o sustitución de válvulas					x
Cambiar de diafragma si se requiere					x
Cicle la válvula (si es posible) para evitar que se atore.				x	

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

Tabla 60-4. Frecuencia de las tareas de mantenimiento de filtros de arena.

Actividades	Diarias	Semanales	Mensuales	Semestrales	Anuales
Mantener el agua en condiciones apropiadas	x				
Controlar periódicamente el manómetro, el cual nos indica el grado de saturación del filtro.		x			
Verificar el estado de los elementos internos					x
Cambio de arena si empieza a pasar tierra a la piscina					x
Colocar grasa en los elementos de cierre de las tapas					x

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

Tabla 61-4. Frecuencia de las tareas de mantenimiento de las trampas de pelos.

Actividades	Diarias	Semanales	Mensuales	Semestrales	Anuales
Abrir la trampa de pelos y retirar el canasto que retiene pelos y hojas, lavarlo y volverlo a colocar		x			
Cambio de empaques de ser necesario				x	
Cerrar la tapa con el ajuste adecuado					x

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

Tabla 62-4. Frecuencia de las tareas de mantenimiento de actuadores neumáticos.

Actividades	Diarias	Semanales	Mensuales	Semestrales	Anuales
Observación periódica para asegurar un ajuste preciso		x			
Asegúrese de que el actuador opera la válvula correctamente dentro del ciclo de tiempo requerido.	x				
Verifique que el valor de la presión de suministro de energía está dentro del rango requerido	x				
Inspeccione visualmente los componentes externos del actuador por daño físico.	x				
Inspeccione las conexiones neumáticas por pérdidas. Ajuste los adaptadores de tuberías como se quiera.	x				
Evite la acumulación de polvo y tierra de todas las superficies del actuador.	x				
Inspeccione el acabado de la pintura del actuador por daño para asegurar protección contra la corrosión.			x		

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

Tabla 63-4. Frecuencia de las tareas de mantenimiento de tableros de control.

Actividades	Diarias	Semanales	Mensuales	Semestrales	Anuales
Limpieza interna y externa utilizando aire comprimido		x			
Sacuda todas las barras, aisladores y cables con un trapo limpio, seco y libre de pelusa.			x		
Limpie los relevadores, shunts de disparo, solenoides u otros equipos de control eléctrico con limpiador eléctrico.			x		
Remueva los interruptores removibles, aspírelos y sacúdalos hasta dejarlos limpios		x			

Verifique las terminales de conexión del sistema de protección, buscando aflojamiento y corrosión					x
Prueba de funcionamiento con carga y en vacío del tablero, verificando el correcto funcionamiento de todos los componentes que conforman el tablero.				x	

Fuente: <http://www.aguasetumbes.com/pdf/mof/CO-MAN.03%20-%20Mantenimiento%20Tableros%20Electricos.pdf>

4.2.6.4 Mejoras y modificaciones de la instalación.- En este caso, no se recomienda ninguna modificación en las instalaciones, porque significaría una nueva inversión para el GAD cantonal, que no se halla presupuestada, pero si realizar algunas mejoras en su infraestructura y procesos.

- Cubierta sobre cada una de las piscinas.
- Remodelación de vestuarios.
- Tratamiento periódico del agua, manteniendo el pH y niveles de cloro en los rangos recomendados.

4.2.6.5 Formación de personal.- Se debe preparar personal especializado tanto para el mantenimiento mecánico como para el mantenimiento eléctrico.

La persona especializada en el mantenimiento mecánico debe ser capaz de realizar todas las reparaciones, ajustes y calibraciones mecánicas y neumáticas. Debe tener la capacidad para interpretar planos y esquemas neumáticos, montaje, desmontaje, ajustes, aplicar procedimientos de lubricación.

La persona especializada en el mantenimiento eléctrico debe ser capaz de realizar comprobaciones y reparaciones en tableros e instalaciones eléctricas. Todos deben formar un grupo de trabajo sólido y comprometidos a realizar actividades de mejoramiento continuo en las operaciones del parque acuático. Estas pueden ser agrupadas en dos frentes de trabajo:

Actividades reactivas: Análisis Causa Raíz (ACR), solución de problemas.

Actividades proactivas: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM). Con el análisis funcional y análisis de criticidad de los equipos.

Para esto, se deben realizar una serie de actividades previas:

- Preparar un inventario de sistemas a analizar u oportunidades de mejora.
- Realizar el análisis funcional y de criticidad o el análisis de oportunidades de mejora.
- Preparar un orden de implantación del RCM, estimando el impacto positivo.
- para la empresa que pudiera representar una mejoría en los mismos.
- Seleccionar el sistema o problema de mayor impacto posible y de mayor probabilidad de éxito.
- Definir claramente las funciones de los sistemas o la naturaleza de los problemas.
- Establecer una misión precisa y clara en consenso, definir los objetivos del grupo de trabajo.
- Preparar los cronogramas de actividades, la naturaleza de dicho cronograma dependerá del grupo de trabajo, de sus necesidades y limitaciones, pudiendo ser desde una reunión semanal, a reuniones diarias, quinquenales o jornadas de trabajo continuas (por semanas o proyecto).
- El cronograma de trabajo deberá llegar hasta la implantación de actividades y su seguimiento.
- Realizar plan de contingencia, para evitar cualquier retardo debido a problemas previsibles, como permisos, vacaciones de algún integrante del grupo.
- Lograr consenso con la gerencia de la planta sobre los puntos anteriores.
- Comenzar el análisis, partiendo de una sencilla pero concisa documentación de los pasos anteriores.
- Completar el análisis.
- Sugerir soluciones.
- Evaluar la factibilidad económica de las soluciones, recordar que muchas posibles soluciones no son viables desde el punto de vista económico.

- Documentar todo el proceso anterior, realizando pequeños resúmenes a presentar a la gerencia.
- Presentar los resultados a la gerencia de planta, los resultados deberán estar con un completo juicio económico que soporte su implantación.
- Convertir en realidad las sugerencias propuestas y justificadas por el equipo de trabajo.
- Realizar un seguimiento a las actividades y sus resultados, tomar medidas de ser requerido, recordar que se trata de un mejoramiento continuo y no de una mejora por salto al más alto nivel de desempeño.
- Verificar si las actividades son aplicables en otras áreas de la organización e implantarlas de ser necesario.

4.2.7 Fase 6: Obtención del plan de mantenimiento y agrupación de medidas preventivas.

Determinadas las medidas preventivas para evitar los fallos potenciales de un sistema, el siguiente paso es agrupar estas medidas por tipos de equipos, lo que luego nos facilitará su implementación. El resultado de esta agrupación será:

Plan de Mantenimiento. Era inicialmente el principal objetivo buscado. El plan de mantenimiento lo componen el conjunto de tareas de mantenimiento resultante del análisis de fallos. Puede verse que aunque era el objetivo inicial de este análisis, no es el único resultado útil.

Una vez identificados los equipos susceptibles de mantenimiento en los diferentes sistemas que componen el parque acuático "Los Elenes", se han tomado las instrucciones elaboradas por los fabricantes de los diferentes equipos para desarrollar procedimientos para cada equipo.

4.2.7.1 *Mantenimiento de motores.*

Procedimiento:

- Inspeccionar periódicamente niveles de aislamiento, la elevación de temperatura (bobinas y soportes), desgastes, lubricación de los rodamientos, vida útil de los soportes, examinar eventualmente el ventilador con relación al correcto flujo de aire, niveles de vibraciones, desgaste de escobillas y anillos colectores.
- Para facilitar el intercambio de calor con el medio, la carcasa del motor debe ser mantenida limpia, sin acumulo de aceite o polvo en su parte externa. También el interior del motor debe ser mantenido limpio, libre de polvo, desechos y aceites.
- La bobina debe ser inspeccionada y limpiada periódicamente con aspirador de polvo y que trabaje con aire limpio, medir la resistencia del aislamiento y el índice de polarización para determinar si la bobina está completamente seca. Se debe inspeccionar los rodamientos o cojinetes y de ser necesario lubricarlos.

4.2.7.2 *Mantenimiento de bombas centrífugas.*

Procedimiento:

- Limpieza externa y destapar para la limpieza interna.
- Verificar alineación de la bomba con el motor. El desalineamiento máximo no debe superar 0,003”.
- Verificar el estado físico del eje y la temperatura de los cojinetes.
- Lubricar los rodamientos o cojinetes.
- Revisar impulsor y de ser necesario cambiarlo.
- Revisar caja o cuerpo y limpiarlo. En caso de fugas cambiar de empaques o sellos de cierre.
- Verificar que opere debidamente en la succión la válvula de pie (Check con rejilla) para evitar que se queme el motor.

- Verificar que la temperatura del agua que succiona, no alcance la temperatura de ebullición, ya que esto impide al impulsor expulsar el agua que succiona. Los manómetros que se instalen a la salida de las bombas deben tener amortiguadores de presión para evitar lecturas erróneas.

4.2.7.3 *Mantenimiento de calderos.*

Procedimiento:

- El mantenimiento de la caldera es muy importante no sólo para preservar el equipo sino que también una caldera limpia sin incrustaciones sea por el lado del agua o de los gases de combustión ofrece los mayores rendimientos térmicos, lo cual puede significar mucho dinero. Es conveniente al menos, mensualmente retirar las incrustaciones y limpiar los tubos de humo.

- Verificar el nivel de agua, el adecuado cierre de la válvula de combustibles, las filtraciones de aire o combustible, las luces indicadores y alarmas.

- Es muy importante llevar un estricto control del agua de alimentación y del agua dentro de la caldera, midiendo parámetros como pH, sales y fosfatos.

- Se debe realizar el mantenimiento del McDONELL, para lo cual se debe enfriar el caldero, bajar el nivel de agua y desmontar los pernos y bridas de sujeción, retirar incrustaciones, limpiar con cepillo, cambiar empaques y armar nuevamente este dispositivo.

4.2.7.4 *Mantenimiento de ventiladores.*

Procedimiento:

- Inspeccionar periódicamente las condiciones de limpieza del motor.

- Eliminar los depósitos de polvo o incrustaciones sobre el motor eléctrico.
- Inspección y mantenimiento del rodete (turbina) para determinar la presencia de desgaste o corrosión y acumulación de materiales que pueden causar un desbalanceo que puede causar vibración y desgaste del rodamiento.
- Inspección y mantenimiento de los rodamientos.

4.2.7.5 *Mantenimiento de compresores.*

Procedimiento:

- En el mantenimiento de compresores se debe comprobar el estado del filtro de aspiración. De ser necesario se debe soplar este filtro. Si ha cumplido el tiempo de servicio se debe cambiar.
- Se debe controlar el nivel de aceite y si el aceite a cumplido su tiempo útil cambiar de aceite.
- Verificación del estado de la(s) válvula(s) de seguridad y comprobar el estado de las uniones atornilladas.
- Verificación del dispositivo manómetro su estado y funcionalidad.

4.2.7.6 *Mantenimiento de válvulas.*

Procedimiento:

- Para el mantenimiento de las válvulas no es necesario desmontarlas, a no ser que su cuerpo este dañado. Se debe comprobar periódicamente el cierre completo de la válvula. Si el cierre no es el adecuado cambiar de empaquetaduras o de diafragma en las válvulas de diafragma.
- Inspeccionar fugas en el vástago y apretar la tuerca superior cuando se requiera.
- Para reparaciones desmontarla y colocar una de repuesto, por ejemplo para la rectificación de asientos.

- Realizar el ajuste de los tornillos de la unión entre el bonete y el cuerpo, y los del estopero.
- Cerrar y abrir la válvula para evitar que se atore en una posición.

4.2.7.7 Mantenimiento de filtros de arena.

Procedimiento:

- Mantener el agua en condiciones apropiadas mediante la adición de cloro, controlar que el PH se mantenga dentro de valores recomendados y evitar la turbiedad.
- Controlar periódicamente el manómetro, el cual nos indica el grado de saturación del filtro.
- Verificar el estado de los elementos internos.
- Cambio de arena si empieza a pasar tierra a la piscina.
- Colocar grasa en los elementos de cierre de las tapas para facilitar su apertura.
- Cuando aumenta mucho la pérdida de carga en el filtro se debe realizar el retrolavado, dicha limpieza se realiza por inversión del flujo de agua, haciéndole circular de abajo hacia arriba.

4.2.7.8 Trampas de pelos.

Procedimiento:

- Abrir la trampa de pelos y retirar el canasto que retiene pelos y hojas, lavarlo y volverlo a colocar.
- Cambio de empaques de ser necesario.
- Cerrar la tapa.

4.2.7.9 Actuadores neumáticos.

Procedimiento:

- Para las instalaciones neumáticas es importante comprobar la presión de funcionamiento para evitar posibles sobrepresiones.
- Comprobar el apriete de conectores neumáticos para evitar fugas, verificar sellos.
- Comprobar los soportes de los cilindros tanto en holgura como en alineación.
- Limpiar la suciedad de vástagos y mantener el aire neumático en perfectas condiciones.

4.2.7.10 *Tableros de control.*

Procedimiento:

- El mantenimiento de tableros se basa en inspecciones y mediciones periódicas a los equipos para ver su estado. En la actualidad, el uso de cámaras Termográficas permiten vigilar constantemente los tableros, esto se complementa con las mediciones de voltaje y corriente en diversos equipos críticos.

- En instalaciones eléctricas o cables, los incrementos de temperatura siempre son un indicador de sobrecarga, un mal funcionamiento inminente o un defecto existente. La tecnología de la Termografía es particularmente útil en el mantenimiento de tableros eléctricos, ya que la medición puede ser llevada a cabo sin contacto y a una distancia segura. De esta forma pueden detectarse anomalías e implementar las medidas necesarias para solucionarlas.

4.2.8 *Fase 7. Puesta en marcha de las medidas preventivas.*

A pesar que el objetivo de esta investigación es solamente, desarrollar un modelo de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), para el parque acuático

los Elenes del cantón Guano. Se da una guía para aplicar este modelo, luego de su socialización correspondiente en las instancias respectivas del GAD cantonal.

4.2.8.1 Puesta en marcha del plan de mantenimiento.

Una vez que existe un plan de gestión de mantenimiento y el personal necesario para su realización con la preparación adecuada es oportuno poner en marcha este plan. Para ello, se debe dialogar con el personal encargado de ejecutar el plan, anotando sus sugerencias y comentarios. Tras los primeros días de aplicación, empezarán a surgir cambios al plan inicial. El sistema de revisión del plan debe ser suficientemente ágil para poder ir introduciendo cambios a medida que se identifiquen las posibilidades de mejora del plan.

Los primeros cambios se referirán sobre todo a tareas que no puedan ser realizadas, a tareas que se han olvidado y que pudiera ser necesario útil realizar, a rangos de medida incorrectos, a herramientas y materiales no incluidos en la lista de cosas a preparar, o a correcciones en el tiempo necesario para su realización, entre otras. Más tarde, las correcciones se realizarán para excluir tareas que no han demostrado ser útiles o rentables, o bien para incluir tareas que surjan como consecuencia de averías y problemas que se hayan presentado, y que pudieran evitarse con alguna medida preventiva.

Es necesario verificar que las tareas recomendadas por los fabricantes han sido tenidas en cuenta, para asegurar que no se olvida en el nuevo plan ninguna tarea importante. Pero una vez revisado, hay que tratar de que la implementación sea lo más rápida posible.

Para alguna de las tareas que se detallen en el nuevo plan es posible que no se disponga en planta de los medios necesarios. Por ello, es necesario que los responsables del mantenimiento se aseguren de que se dispone de los medios técnicos o de los materiales necesarios.

4.2.8.2 Implementación de mejoras técnicas.

Tras el estudio, se ha preparado la siguiente propuesta de mejoras y modificaciones es conveniente implementar en las instalaciones del parque acuático los "Elenes". Los resultados que se obtengan dependerán del grado de compromiso que asuma el GAD cantonal y con ellos del presupuesto que destine a este proyecto. Las mejoras planteadas SON: (Wikispaces., 2014. Implementación del plan de mantenimiento)

- Implementar un departamento de operación y mantenimiento, el personal mínimo necesario estará constituido por cuatro personas: electricista, mecánico, albañil y un profesional responsable de la supervisión de los trabajos de mantenimiento.
- Todo el personal de operación y mantenimiento debe ser entrenado y capacitado, antes de asumir su función.
- Se debe socializar el plan de gestión de mantenimiento a ser implementado.
- Se debe adquirir todo el equipamiento, material necesario, accesorios y repuestos indispensables para emprender esta gestión.
- Se requiere confeccionar fichas de control periódico para cada equipo considerado.
- Se debe empezar con la implementación de este plan de gestión de mantenimiento y la recopilación de la información del historial de fallos en los diferentes sistemas.
- Realizar reuniones periódicas con el personal para evaluar e ir perfeccionando este plan de gestión de mantenimiento en función de la información que se va recopilando.

Al momento el mantenimiento en el parque acuático, se basa casi exclusivamente en el examen visual de los equipos y en la experiencia de los técnicos que realizan el mantenimiento generalmente correctivo, pero para mejorar el diagnóstico se requiere de un equipamiento mínimo dentro del cual se contempla la adquisición de un equipo para analizar vibraciones y uno de Termografía. El costo de estos dos equipos bordea los cinco mil dólares, pero el beneficio que ellos brinden permitirá recuperar esta inversión en aproximadamente tres años.

4.2.8.3 Puesta en marcha de las acciones formativas.

Las actividades de formación determinadas deberían estar divididas en formación para personal de mantenimiento y formación para personal de operación, pero en este caso, se considera que es conveniente que el mismo personal de operación realice los trabajos de mantenimiento, porque esto permitirá:

- Aprovechar el conocimiento adquirido durante la operación.
- La realización inmediata del mantenimiento en forma oportuna

Estas actividades formativas deben ser mensuales, para ello se puede establecer un convenio con la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento de la ESPOCH, para que sus docentes sean los instructores de la formación a este personal.

Para implementar las acciones formativas determinadas en el análisis, no hay más que incluirlas en el Plan de Formación de la planta.

4.2.8.4 Puesta en marcha de cambios en procedimientos de operación y mantenimiento.

Para la implementación de estos cambios en procedimientos de operación y mantenimiento es necesario asegurar que todos los implicados conocen y comprenden los cambios. Para ellos es necesario organizar sesiones formativas en las que se explique a todo el personal que tiene que llevarlos a cabo cada uno de los puntos detallados en los nuevos procedimientos, verificando que se han entendido perfectamente. Este aspecto formativo es el más importante para asegurar la implementación efectiva de los cambios en procedimientos.

Al no existir un departamento de mantenimiento oficialmente constituido, tampoco se cuenta con un procedimiento definido de mantenimiento planificado, porque cada técnico contratado para esta actividad aplica su propio criterio, al no existir ningún procedimiento escrito que pueda tomarse como referencia, por lo que no se puede hablar de una modificación, sino más bien de una propuesta de procedimiento que podrá ser

perfeccionado con la experiencia que se vaya adquiriendo tanto en la operación como en el mantenimiento y en la instrucciones que vienen en los manuales de operación y mantenimiento de los fabricantes de los equipos. El procedimiento de **operación y mantenimiento** propuesto para los sistemas más complejos piscina de agua temperada y sauna y baño turco, que son los que tiene calderos es el siguiente: (Cuerpo de Ingenieros del ejército., 2007, Procedimiento general de operación de los equipos)

- a. Revisar y limpiar todos los equipos del sistema. Cuando los equipos se hallan completamente limpios es más fácil detectar cualquier situación anómala, como fugaz y contaminaciones.
- b. Inspeccionar tableros, motores e instalaciones eléctricas para determinar su estado y detectar cables o partes sueltas que deben ser ajustadas o cambiadas. Los resultados de la inspección anote en el formato de mantenimiento.
- c. Revisar el voltaje y corriente entre fases, estos deben coincidir con las especificaciones del equipo.
- d. Encender equipos y verificar niveles de ruido y vibraciones anormales de los equipos. Esto indicaría que algo está mal en los equipos y se deben tomar los correctivos.
- e. Determinar si algún equipo está sufriendo de sobrecalentamiento y revisar el manual de mantenimiento para conocer sus posibles causas.
- f. Verificar posibles fugas en tuberías, bombas, válvulas y filtros.
- g. Revisar que las presiones con que trabajan los equipos estén de acuerdo a las especificaciones de normalidad.
- h. Revisar el nivel de agua en el caldero.

- i. Arrancar el sistema de filtración hasta que se estabilice.

- j. Prender los calderos, para ello previamente se deben prender las bombas de alimentación de los calderos.

- k. Purgar en forma rápida los calderos abriendo las válvulas de fondo de los mismos por unos 10 segundos, con el objeto de eliminar posible presencia de lodos; para luego, una vez realizada esta operación, se debe purgar por unos 5 segundos abriendo las llaves de los MacDonell.

- l. Cuando se termine la cargada de agua a los calderos, en el quemador se prenderá la luz piloto de encendido; en el lapso de 30 segundos se prenderá el piloto. Luego en 30 segundos posteriores entrarán a funcionar los quemadores, y de esta manera quedan en operación los calderos.

- m. Para que los calderos se carguen de vapor más rápidamente se debe cerrar las válvulas de la línea de alimentación de vapor a los intercambiadores, aunque no existe problema alguno si se deja abiertas estas válvulas. El cargado de vapor en los calderos se demorará aproximadamente en unos 30 minutos, hasta que alcance una presión de 28 Psi., que es en donde el caldero se apagará en forma automática. En estos momentos se abrirán las válvulas de alimentación de vapor a los intercambiadores, si estas estaban cerradas, para que entre vapor en ellos y empiece a temperar el agua de la piscina.

- n. La válvula reguladora del sistema de calentamiento, deberá encontrarse Semi-cerrada y regulada hasta que el manómetro en el filtro marque un máximo de 45 Psi., tal como se explica en operación del sistema de filtrado (aproximadamente $\frac{3}{4}$ del cierre). Los calderos funcionarán en forma automática, se prenderán cuando la presión de vapor en ellos, descienda hasta 20 Psi., y, se apagará cuando llegue a los 28 Psi.

o. El calentamiento inicial se prevé que los calderos funcionarán por 36 horas aproximadamente en forma ininterrumpidamente, hasta que el agua de la piscina llegue a una temperatura de 28 °C.; y posteriormente, estos funcionarán en forma alternada por 6 horas diarias aproximadamente, esto es que mientras un caldero funciona un día, el otro descansa, y así sucesivamente (este sistema de operación se prevé para mantenga la temperatura del agua de la piscina, más no para subirla).

p. Cuando la temperatura del agua en la piscina a descendido y el funcionamiento de un solo caldero no permite la recuperación pronta de la temperatura ideal en el agua de la piscina; entrarán a funcionar los dos al mismo tiempo, sin parar hasta llegar a la temperatura requerida.

q. Para finalizar la operación de calentamiento, los calderos se los debe apagar una hora antes de apagar la bomba del sistema de filtración, con el objeto de que los calderos descarguen todo el vapor en ellos y evitar transmitan exceso de temperatura a las tuberías cuando se apaga la bomba de filtración (produciendo un ruido muy agudo en las tuberías debido a que no existe el paso de agua en ellas y existe vapor en los calderos que no se descargó previamente).

Otro problema que se ocasiona en los calderos cuando no se ha descargado el vapor: es que cuando el vapor se enfrí se condensa convirtiéndose en agua quedándose totalmente llenos, por lo que al otro día cuando el Operador quiera prenderlos estos no funcionen, toda vez que los controles se encuentran bloqueados, por lo que se debe purgar por el fondo de los calderos hasta que el agua descienda al nivel correcto y entonces se prenderán las bombas de alimentación de agua a los calderos en forma automática.

r. Las válvulas de paso de gas hacia la centralina se encontraran abiertas en su totalidad con el objeto de abastecer al quemador con el suficiente gas que necesita para su funcionamiento.

s. El llenado de los calderos se los realiza desde un reservorio de agua que se llama Tanque de Condensado, éste básicamente se alimenta con agua de condensado, proveniente del total de agua de los intercambiadores. De existir una reducción en el volumen de agua en el tanque, éste automáticamente es alimentado por medio de las válvulas, que por lo general permanecen abiertas toda vez que el nivel de agua es controlado por una boya de nivel.

El agua de alimentación al tanque de condensado viene desde la línea de los inyectores antes del calentamiento, o sea que no es un agua muy dura toda vez que tiene un tratamiento; sin embargo, pasa previamente por un microfiltro con carbón activado, para eliminar básicamente el cloro existente en el agua de alimentación. Para el resto de sistemas que no tienen caldero, se repite el proceso hasta el literal g.

Tabla 64-4. Tratamiento del agua de las piscinas.

Actividades	Diaria	Semanal	Mensual	Trimestra	Semestra	Anual
Análisis de los parámetros de cloro (pH 7,2 - 7,6 y Cloro libre 0,4 - 1,5 p.p.m.)	X					
Prueba de la determinación de cloro combinado. Donde el nivel máximo de cloro combinado será de 0,5 ppm		x				
Visualizar el estado de la arena de los filtros				x		
Hacer limpieza de la arena de los filtros, sí no se ha realizado en el trimestre.					x	
Cambio de arena de los filtros						x

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

4.3 Tareas de mantenimiento de las piscinas.

El líquido que se manejan en los diferentes equipos es el agua, razón por la cual es de suma importancia un tratamiento adecuado, porque esto evita el fallo o al menos disminuye sus efectos. Las tareas que se deben realizar estrictamente son: (INFOJARDIN., 2015, Tratamiento de agua)

- Se debe medir el pH al menos una vez por semana.
- El valor del pH del agua de la piscina debe estar comprendido entre 7,2 y 7,6. Así se evitan los "ojos rojos" y se logra una mayor eficiencia en el uso del cloro. Si está más alto o está más bajo, el cloro no actúa.
- Agregar cloro a la piscina. El cloro mantiene limpia y cristalina el agua. Su función es destruir microorganismos como bacterias y hongos. En este caso el sistema de cloración es automático, debido a que cuando se prende la bomba de filtración, se prende la bomba reforzadora cuya función es la inyectar agua clorada a la línea de retorno a los inyectores en la piscina.
- Controla el nivel de cloro al menos 1 vez por semana. Debe mantenerse entre 1 y 1,5 partes por millón (p.p.m.). • Duplica la dosis de cloro cuando haya llovido o si la piscina la ha usado mucha gente.
- Añadir semanalmente antialgas. La formación de algas causa agua verde y superficies resbaladizas. Cuanto más tiempo se tarde en tratarlas, más difícil será eliminarlas.
- Añadir flocculantes para evitar la turbidez del agua. El flocculante lo que hace es aumentar el tamaño de las partículas coloidales en suspensión y provocar su decantación al fondo de la piscina, siendo entonces fácil sacar con el limpiafondos. Si no se eliminan son retenidas por la arena de los filtros.
- En días de atención la bomba funcionará desde las 10H00 hasta las 15H00.
- Cuando existe un problema de algas o turbidez, puede seguir funcionando durante toda la noche.
- Realizar siempre las aperturas y cierres de válvulas con la bomba parada, al igual que los cambios de posición de posición de la válvula selectora del filtro de arena.
- Una vez por semana limpiar los filtros de arena.
- Cuando la presión en el filtro sube por encima de 28 psi, significa que es la hora de un lavado. Con el contralavado se consigue invertir el sentido de circulación del agua en el filtro y con ello se expulsa al desagüe las materias primas filtradas.
- La arena del filtro se debe cambiar cada 1 o 2 años, dependiendo de la frecuencia de uso y cantidad de personas en la piscina.

Tabla 65-4. Solución a problemas en piscinas.

Síntomas	Causa	Tratamiento
Agua verde	Presencia de algas o niveles altos de cobre	- Ajustar el pH. - Efectuar un tratamiento desinfectante con cloro.
Agua blanquecina	Desajustes del pH, presencia de contaminantes en el agua y/o suciedad del filtro.	- Ajustar el pH. - Efectuar un tratamiento desinfectante con cloro y si no hay mejora, verificar el estado de la arena del filtro.
Paredes viscosas y suelo resbaladizo	Niveles bajos de cloro y presencia de algas.	- Efectuar un tratamiento con cloro en niveles entre 0,8 y 1,4 ppm.
Olor fuerte que provoca irritación de los ojos y mucosidad	Desajustes del pH.	- Medir y corregir el pH.
Turbiedad del agua	Presencia de elementos en suspensión	- Ajustar el pH. -Aportar floculante y, si no mejora revisar el filtro

Fuente: LERO Y MERLIN. (2015). Mantener a punto la piscina. 12/05/2015, de LERO Y MERLIN

4.4 Costo de la implementación de este modelo de gestión de mantenimiento.

4.4.1 El costo del personal.- Es el resultado de la suma del rubro sueldos anuales y costos de su formación.

Como el personal que se requiere para mantener este parque acuático sugiere que sea de planta, no se tendrá que desglosar las horas destinadas al mantenimiento de cada uno de los equipos durante el año, sino lo que cada uno de ellos percibirá como sueldo y más beneficios durante el año.

Tabla 66-4. Costo del personal.

Personal	Sueldo mensual	Sueldo Anual	Decimos	Total
Ingeniero	1200	14400	1500	15900
Técnico mecánico	500	6000	625	6625
Técnico electricista	500	6000	625	6625
Albañil	364	4368	455	4823
	2564	30768	3205	33973

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar (Tabla de remuneraciones mínimas sectoriales 2015).

4.4.2 Costo de equipamiento.- El equipamiento indispensable que se requiere será:

Tabla 67-4. Costos de los equipos requeridos.

Equipos	Costo aproximado
Una cámara termografica	4,000.00
Un medidor de vibraciones	2,000.00
Un compresor	500.00
Una soldadora eléctrica	400.00
Una soldadora autógena	500.00
Una amoladora	120.00
Un taladro de mano	50.00
Juego de llaves	200.00
Total	7,770.00

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

4.4.3 Costos de materiales.- De todos los rubros el más difícil de determinar es el de los materiales (repuestos e insumos), ya que depende enormemente de los fallos que se pretendan controlar. Esta es además una partida que depende mucho del estado de la planta, de la implantación adecuada del modelo de gestión de mantenimiento, del diseño y del montaje de los equipos. En una estimación rápida, suele estar entre el 0,5 y el 2% del inmovilizado, es decir, del valor de la planta. Es el que más posibilidades tiene de optimización.

a. Repuestos. Rodamientos, válvulas, neopros, uniones, codos, universales, tapones y filtros.

b. Insumos. Los insumos son materiales que se consumen diariamente durante la ejecución del trabajo de operación, inspección y mantenimiento, estos son:

- Aceites y lubricantes.
- Filtros de aire, aceite, etc.
- Elementos de estanqueidad o empaques.
- Diverso material de ferretería como, tornillos, arandelos, teflón, etc.
- Diverso material eléctrico como cable, toma corrientes, enchufes, taípe, etc.
- Consumibles de taller como acetileno, gas, sierras, brocas, guaípe, etc.
- Ropa de trabajo como overol y botas.
- Elementos de seguridad como gafas, casco y guantes.

- Combustible para vehículos.
- Otros materiales.

En este caso, como el costo de construcción del parque acuático fue de **Dos millones de dólares**, y considerando que el costo de materiales suele estar entre el 0,5 y 2 % del costo, se asume un costo de materiales de \$ 20,000.00 dólares.

4.4.4 Costo del desarrollo del proyecto.- Como el desarrollo del modelo de gestión es parte de un trabajo de tesis, el autor asume en su totalidad los gastos de desarrollo y publicación del proyecto.

4.5 Presupuesto anual necesario para implementar este modelo de gestión de mantenimiento.

Es importante considerar que el primer año es el que representa el mayor costo y parecería ser que es más conveniente contratar temporalmente el personal para el trabajo de mantenimiento, pero a partir del segundo año se puede verificar claramente que este costo desciende y se mantiene aproximadamente unos diez años que es la vida estimada de los equipos.

Por otra, parte el personal contratado realiza el trabajo solamente para resolver algún problema en particular y no le interesa lo que pueda pasar con el resto del equipamiento, para tener asegurada una nueva contratación en un futuro próximo, pero en realidad no existe el compromiso de mantener funcional todo el equipamiento a largo plazo.

Tabla 68-4. Costos de implementación del modelo de gestión de mantenimiento.

Costos	Costo
Personal	33,973.00
Equipamiento	8,770.00
Materiales	20,000.00
Total	61,743.00

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

El costo de implementación de este proyecto en su primer año alcanza **LOS SESENTA Y UN MIL SETECIENTOS CUARENTA Y TRES DÓLARES.**

Para el segundo año y subsiguientes el costo aproximado sería de **CINCUENTA Y DOS MIL NOVECIENTOS SETENTA Y TRES DÓLARES**, pero como siempre van ir quedando materiales del año anterior, se podría bajar este costo.

Otra alternativa para bajar los costos de implementación de este proyecto sería, reubicar a personal de planta del GAD que tenga la predisposición de trabajar en estas actividades, esto abarataría completamente la gestión de mantenimiento.

4.6 Evaluación del modelo de gestión de mantenimiento RCM.

Si bien es cierto este modelo se lo desarrollo a pedido del GAD cantonal de Guano, no es obligatorio que el mismo sea implementado inmediatamente, por cuanto este proyecto no estaba contemplado en el presupuesto del 2015, pero indudablemente servirá como un documento de consulta para quienes realicen los trabajos de mantenimiento en este parque acuático y en cualquier otro realizando las adaptaciones necesarias según su realidad.

Por tanto vale la pena aclarar que la evaluación que aquí se realiza, es al modelo en su conjunto, no a los resultados de su implementación y aplicación que requeriría por lo menos de un año. Para esto, es necesario comparar la realidad actual con la que sería al aplicar este modelo de gestión de mantenimiento:

a. Este modelo se basa en el análisis de los fallos, sus causas y consecuencias, y con este conocimiento previo se propone las medidas preventivas más adecuadas. En la forma actual de llevar adelante el mantenimiento, se reduce simplemente a la reposición que han fallado o que se consideran que pueden fallar.

b. La formación del personal y su perfeccionamiento continuo en la práctica, es una prioridad en este modelo de gestión de mantenimiento. En la actual forma de hacer mantenimiento, la formación y el perfeccionamiento es solamente voluntad y potestad de los técnicos, porque el compromiso que ellos tienen es el de solucionar los problemas presentes al momento de su contrato.

c. Este modelo es susceptible de perfeccionamiento, esto significa que se pueden incluir nuevas tareas que incluso ni el fabricante de los equipos las considera necesarias y de la misma forma se pueden eliminar otras que se consideran perfectamente asumibles, sin mayores consecuencias para el sistema. Es decir, es más económico esperar el fallo y solucionarlo cuando se produzca, que realizar determinadas tareas para evitarlo.

En cambio, en la técnica de mantenimiento actual casi siempre se repite el mismo procedimiento y las causas de los fallos no siempre son las mismas, lo que encarece el procedimiento debido a que a veces se realizan reposiciones de partes que nada tienen que ver con los mismos.

d. Al no disponer de datos históricos para su evaluación cuantitativa en un periodo determinado, se puede recurrir a una evaluación cualitativa por parte de los miembros del tribunal de evaluación de este proyecto, según el método Delphi, que se basa en las opiniones de expertos en el temaⁱ.

Tabla 69-4. Logros mínimos que se pretenden alcanzar con el modelo propuesto.

Indicadores	Resultados esperados	Recurso
Aumentar la cantidad de turistas que visitan el parque	Mejorar la rentabilidad del parque acuático	El modelo de gestión de mantenimiento propuesto
Menor ocurrencia de fallas críticas	Mejorar la disponibilidad del equipamiento	El modelo de gestión de mantenimiento propuesto
Menor cantidad de paralizaciones	Personal cada vez más capacitado	Experiencia diaria y el modelo de gestión de mantenimiento propuesto
Mayor satisfacción de los usuarios	Mejor organización y servicios	El modelo de gestión de mantenimiento propuesto

Elaborado por: Raúl Cabrera Escobar

4.7 Discusión de resultados de la estructura del modelo.

- Las investigaciones permiten obtener resultados cuantitativos y cualitativos, en este caso el resultado es cualitativo porque se está presentando un procedimiento de mantenimiento para la conservación de equipos e instalaciones. Los resultados cualitativos se evalúan por la estructura misma del modelo, por el grado de impacto que se pretende alcanzar y por el valor agregado que serán los elementos tangibles o intangibles que pueda producir el modelo.

- El Mantenimiento Centrado en Fiabilidad o RCM va más allá. Tras el estudio de fallos, no sólo se obtiene un plan de mantenimiento que trata de evitar los fallos potenciales y previsibles, sino que además aporta información valiosa para elaborar o modificar el plan de formación, el manual de operación y el manual de mantenimiento.
- En esta propuesta, no solamente se determinan los fallos posibles de los diferentes equipos, sino que se determinan sus causas y lo que es más sus consecuencias, en el normal funcionamiento de este parque acuático.
- El Mantenimiento Centrado en Fiabilidad o RCM, no es una camisa de fuerza que exige que siempre se sujete a un plan, sino que se evalúe y retroalimente con experiencias y realidades de un entorno.
- Con una mejor organización en el parque acuático, siguiendo los lineamientos de este modelo de gestión de mantenimiento, se puede conseguir mejorar la rentabilidad de este parque acuático y en el futuro, no va ser necesario la inyección de nuevo capital para su mantenimiento.
- Este modelo se puede aplicar en cualquier parque acuático, con las adaptaciones que requiere según su realidad y entorno.

CONCLUSIONES:

- Se realizó el análisis de la situación actual, identificando los equipos y sistemas que componen el parque acuático.

- Se realizó la jerarquización de los equipos en base a su criticidad y se llegó a determinar que motores, bombas y calderos, son los equipos más críticos y que por lo tanto deben recibir la mayor atención.

- Se realizó la inspección técnica y visual de todos los equipos clasificados como críticos para las instalaciones (Análisis Causa Raíz), por no disponer todavía de los equipos de verificación necesarios.

- Se diseñó el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) de acuerdo a la realidad del parque acuático y su entorno.

- Se realizó la programación del mantenimiento (RCM), considerando los recursos humanos y económicos mínimos, de tal forma que pueda ser presupuestado por el GAD cantonal para el próximo año.

- Se desarrolló un modelo de gestión de mantenimiento (RCM) específico para este parque acuático, que esperamos que el GAD cantonal de Guano lo implemente en el corto plazo. En todo caso, podrá ser un documento de consulta muy útil para quienes vayan a realizar el mantenimiento de este parque.

RECOMENDACIONES:

- Para que este modelo de gestión de mantenimiento funcione se debe aplicar todos los lineamientos planteados tanto en organización como en funcionamiento (equipamiento necesario, recurso humano y económico).

- Capacitar previamente al personal en el procedimiento de operación y mantenimiento, definir con toda claridad las funciones y responsabilidades que cumple cada uno de ellos en este proceso.

- Asegurar el stock de repuestos, insumos y materiales indispensables para garantizar la planificación del mantenimiento y el consecuente funcionamiento continuo de las instalaciones.

- Dar estricto cumplimiento a la periodicidad de cada una de las tareas de este modelo de gestión de mantenimiento, de tal manera que se puedan evitar daños severos en los equipos y no se pueda brindar el servicio adecuado a los usuarios de estas instalaciones.

- Cuando se vaya a realizar un mantenimiento correctivo, este debe estar planificado a realizarse en épocas del año en la que exista la menor demanda de estos servicios.

- Este modelo debe ser evaluado por lo menos anualmente, para detectar sus fortalezas y deficiencias, y al mismo tiempo trabajar en estas últimas, planteando alternativas de cambio, que permitan su perfeccionamiento en el tiempo.

BIBLIOGRAFÍA.

- AIU. (2015). Actuadores. 11/04/2015, de aiu Sitio web: <http://cursos.aiu.edu/sistemas%20hidraulicas%20y%20neumaticos/pdf/tema%204.pdf>
- Cuerpo de Ingenieros del ejército (2007). Procedimiento general de operación de los equipos.
- Chicago Blower. (2006). Clasificación de los ventiladores industriales. 04/05/2015, de Chicago Blower Sitio web: http://www.chiblosa.com.ar/spanish/herramientas/teoria_de_los_ventiladores.htm
- Desconocido. (2014). Mantenimiento cero horas. 27/04/2015, de Desconocida Sitio web: <http://eye.com.uy/servicios/s4.htm>
- Desconocido. (2014). El Mantenimiento como Fuente de Rentabilidad. 20/04/2015, de Mantenimiento Sitio web: <http://web.ing.puc.cl/power/alumno06/OED/mantenimiento.htm>
- Elena Mulet Escrig y otros (2011). Problemas resueltos de análisis de riesgos en instalaciones industriales. Method AMFE (32).Universitat Jaume.
- García Oliverio Palencia (2012). Generalidades del mantenimiento. Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial. Principios fundamentales (23). Ediciones de la U. Primera edición. Bogotá: Ediciones de la U.
- García Oliverio Palencia. (2012). Generalidades del mantenimiento. En Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial. Principios fundamentales (23). Bogotá: Ediciones de la U.
- García Oliverio Palencia. (2012). Estrategias del mantenimiento moderno. En Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial. Principios fundamentales (104). Bogotá: Ediciones de la U.

- Gerardo Murillo Rocha. (2014). Plan de implementación general del RCM. 12/05/2015, de Valory empresa Sitio web: <http://www.valoryempresa.com/archives/crm.doc>

- González Fernández Francisco Javier (2011). Técnicas organizativas de mantenimiento avanzado. Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado (114). Cuarta edición. España: FC Editorial.

- Grupo Alava. (2015). Guía de Termografía para mantenimiento predictivo. 06/05/2015, de FLIR Sitio web: <http://www.alava-ing.es/repositorio/6769/pdf/3505/2/guia-de-termografia-para-mantenimiento-predictivo.pdf>

- INFOJARDIN. (2015). Tratamiento de agua. 11/05/2105, de INFOJARDIN Sitio web: http://articulos.infojardin.com/articulos/piscinas_consejos_mantenimiento_2.htm

- Monografía. (2014). Calderos tipos. 27/04/2015, de Monografias.com Sitio web: <http://www.monografias.com/trabajos97/calderos-tipos/calderos-tipos.shtml>
- Luis Felipe Sexto (2010). La evaluación de tareas en un proceso de mantenimiento centrado en la confiabilidad. 28/05/2015. Sitio web: http://www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/rcm_sexto_mm20.pdf

- National Aeronautics and Space Administration (2000). Reliability Centered Maintenance guide for Facilities and Collateral Equipment.

- NASA (2000). Reliability centered maintenance guide for facilities and collateral equipment. Reliability Centered Maintenance (RCM) Approach (2-17). National Aeronautics and Space Administration.

- OUTLETPISCINAS. (2014). Filtros piscinas. 25/04/2015, de OUTLETPISCINAS Sitio web: <http://www.outlet-piscinas.com/blog/funciones-filtro-arena-piscinas>

- POOLARIA. (2015). Filtros para piscinas. 27/04/2015, de Piscina ideal Sitio web: <http://www.piscinaideal.com/consejos-piscina/filtros-para-piscinas-como-elegir-y-consejos-de-utilizacion/>

- RENOVETEC. (2013). RCM-Mantenimiento centrado en fiabilidad. 15/04/2015, de Portal de ingeniería y gestión de mantenimiento Sitio web: <http://www.ingenieriamantenimiento.org/analisis-de-fallos/rcm-mantenimiento/>

- RENOVETEC. (2013). Ingeniería de mantenimiento. 05/04/2015, de RENOVETEC Sitio web: <http://www.ingenieriadelmantenimiento.com/index.php/26-articulos-destacados/17-plan-de-mantenimiento-basado-en-rcm>

- TRUPER. (2014). Instructivo compresor de aire. 26/04/2015, de TRUPER Sitio web: <https://truper.com/pdf/manuales/19010-11.pdf>

- Unidad de comunicación. (2014). Parque acuático los Elenes. 15/04/2015, de GAD-Cantón Guano Sitio web: <http://www.municipiodeguano.gob.ec/ot/index.php/informacion/shop/lugares/133-parque-acuatico-los-elenes>

- United States Navy Sea Systems Command (2007). Reliability-Centered Maintenance (RCM) Handbook . The rules of RCM (4-1). Naval Sea Systems Command .S9081-AB-GIB-010. Revision 1
United States Navy Sea Systems Command (2007). Reliability-Centered Maintenance (RCM) Handbook. Introduction to RCM (1-3). Naval Sea Systems Command .S9081-AB-GIB-010. Revisión 1.

- United States Navy Sea Systems Command (2007). Reliability-Centered Maintenance (RCM) Handbook. What Comprises Maintenance? (3-1 y 3-2). Naval Sea Systems Command .S9081-AB-GIB-010. Revisión 1

- WEG. (2015). Diagnóstico de fallas en bombas centrífugas. 20/04/2015, de mr electromecánica Sitio web: <http://mrelectromecanica.blogspot.com/2010/12/diagnostico-de-fallas-en-bombas.html>

- Wikispaces. (2014). Implementación del plan de mantenimiento. 06/05/2015, de Principios de mantenimiento usb Sitio web: <http://principiosdemantenimientousb.wikispaces.com/04.+Implementaci%C3%B3n+del+plan+de+mantenimiento>

- Wikipedia. (2015). Sauna. 07/04/2015, de Wikipedia Sitio web: <http://es.wikipedia.org/wiki/Sauna>

- Wikipedia. (2015). Quemadores. 17/04/2015, de Wikipedia Sitio web: <http://es.wikipedia.org/wiki/Quemador>

ANEXO A. (NORMA SAE JA 1011)

SAE JA1011 Issued AUG1999

4. Acronyms

4.1 RCM—Reliability-Centered Maintenance

5. Reliability-Centered Maintenance (RCM)—Any RCM process shall ensure that all of the following seven questions are answered satisfactorily and are answered in the sequence shown as follows:

- a. What are the functions and associated desired standards of performance of the asset in its present operating context (functions)?
- b. In what ways can it fail to fulfil its functions (functional failures)?
- c. What causes each functional failure (failure modes)?
- d. What happens when each failure occurs (failure effects)?
- e. In what way does each failure matter (failure consequences)?
- f. What should be done to predict or prevent each failure (proactive tasks and task intervals)?
- g. What should be done if a suitable proactive task cannot be found (default actions)?

To answer each of the previous questions "satisfactorily," the following information shall be gathered, and the following decisions shall be made. All information and decisions shall be documented in a way which makes the information and the decisions fully available to and acceptable to the owner or user of the asset.

5.1 Functions

5.1.1 The operating context of the asset shall be defined.

5.1.2 All the functions of the asset/system shall be identified (all primary and secondary functions, including the functions of all protective devices).

5.1.3 All function statements shall contain a verb, an object, and a performance standard (quantified in every case where this can be done).

5.1.4 Performance standards incorporated in function statements shall be the level of performance desired by the owner or user of the asset/system in its operating context.

5.2 **Functional failures**—All the failed states associated with each function shall be identified.

5.3 Failure modes

5.3.1 All failure modes reasonably likely to cause each functional failure shall be identified.

5.3.2 The method used to decide what constitutes a "reasonably likely" failure mode shall be acceptable to the owner or user of the asset.

5.3.3 Failure modes shall be identified at a level of causation that makes it possible to identify an appropriate failure management policy.

5.3.4 Lists of failure modes shall include failure modes that have happened before, failure modes that are currently being prevented by existing maintenance programs and failure modes that have not yet happened but that are thought to be reasonably likely (credible) in the operating context.

5.3.5 Lists of failure modes should include any event or process that is likely to cause a functional failure, including deterioration, design defects, and human error whether caused by operators or maintainers (unless human error is being actively addressed by analytical processes apart from RCM).

5.4 Failure Effects

- 5.4.1 Failure effects shall describe what would happen if no specific task is done to anticipate, prevent, or detect the failure.
- 5.4.2 Failure effects shall include all the information needed to support the evaluation of the consequences of the failure, such as:
 - a. What evidence (if any) that the failure has occurred (in the case of hidden functions, what would happen if a multiple failure occurred)
 - b. What it does (if anything) to kill or injure someone, or to have an adverse effect on the environment
 - c. What it does (if anything) to have an adverse effect on production or operations
 - d. What physical damage (if any) is caused by the failure
 - e. What (if anything) must be done to restore the function of the system after the failure

5.5 Failure Consequence Categories

- 5.5.1 The consequences of every failure mode shall be formally categorized as follows:
 - 5.5.1.1 The consequence categorization process shall separate hidden failure modes from evident failure modes.
 - 5.5.1.2 The consequence categorization process shall clearly distinguish events (failure modes and multiple failures) that have safety and/or environmental consequences from those that only have economic consequences (operational and non-operational consequences).
- 5.5.2 The assessment of failure consequences shall be carried out as if no specific task is currently being done to anticipate, prevent, or detect the failure.

5.6 Failure Management Policy Selection

- 5.6.1 The failure management selection process shall take account of the fact that the conditional probability of some failure modes will increase with age (or exposure to stress), that the conditional probability of others will not change with age, and the conditional probability of yet others will decrease with age.
- 5.6.2 All scheduled tasks shall be technically feasible and worth doing (applicable and effective), and the means by which this requirement will be satisfied are set out in 5.7.
- 5.6.3 If two or more proposed failure management policies are technically feasible and worth doing (applicable and effective), the policy that is most cost-effective shall be selected.
- 5.6.4 The selection of failure management policies shall be carried out as if no specific task is currently being done to anticipate, prevent or detect the failure.

5.7 Failure Management Policies—Scheduled Tasks

- 5.7.1 All scheduled tasks shall comply with the following criteria:
 - 5.7.1.1 In the case of an evident failure mode that has safety or environmental consequences, the task shall reduce the probability of the failure mode to a level that is tolerable to the owner or user of the asset.

- 5.7.1.2 In the case of a hidden failure mode where the associated multiple failure has safety or environmental consequences, the task shall reduce the probability of the hidden failure mode to an extent which reduces the probability of the associated multiple failure to a level that is tolerable to the owner or user of the asset.
- 5.7.1.3 In the case of an evident failure mode that does not have safety or environmental consequences, the direct and indirect costs of doing the task shall be less than the direct and indirect costs of the failure mode when measured over comparable periods of time.
- 5.7.1.4 In the case of a hidden failure mode where the associated multiple failure does not have safety or environmental consequences, the direct and indirect costs of doing the task shall be less than the direct and indirect costs of the multiple failure plus the cost of repairing the hidden failure mode when measured over comparable periods of time.
- 5.7.2 ON-CONDITION TASKS—Any on-condition task (or predictive or condition-based or condition monitoring task) that is selected shall satisfy the following additional criteria:
 - 5.7.2.1 There shall exist a clearly defined potential failure.
 - 5.7.2.2 There shall exist an identifiable P-F interval (or failure development period).
 - 5.7.2.3 The task interval shall be less than the shortest likely P-F interval.
 - 5.7.2.4 It shall be physically possible to do the task at intervals less than the P-F interval.
 - 5.7.2.5 The shortest time between the discovery of a potential failure and the occurrence of the functional failure (the P-F interval minus the task interval) shall be long enough for predetermined action to be taken to avoid, eliminate, or minimize the consequences of the failure mode.
- 5.7.3 SCHEDULED DISCARD TASKS—Any scheduled discard task that is selected shall satisfy the following additional criteria:
 - 5.7.3.1 There shall be a clearly defined (preferably a demonstrable) age at which there is an increase in the conditional probability of the failure mode under consideration.
 - 5.7.3.2 A sufficiently large proportion of the occurrences of this failure mode shall occur after this age to reduce the probability of premature failure to a level that is tolerable to the owner or user of the asset.
- 5.7.4 SCHEDULED RESTORATION TASKS—Any scheduled restoration task that is selected shall satisfy the following additional criteria:
 - 5.7.4.1 There shall be a clearly defined (preferably a demonstrable) age at which there is an increase in the conditional probability of the failure mode under consideration.
 - 5.7.4.2 A sufficiently large proportion of the occurrences of this failure mode shall occur after this age to reduce the probability of premature failure to a level that is tolerable to the owner or user of the asset.
 - 5.7.4.3 The task shall restore the resistance to failure (condition) of the component to a level that is tolerable to the owner or user of the asset.

5.7.5 **FAILURE-FINDING TASKS**—Any failure-finding task that is selected shall satisfy the following additional criteria (failure-finding does not apply to evident failure modes):

5.7.5.1 The basis upon which the task interval is selected shall take into account the need to reduce the probability of the multiple failure of the associated protected system to a level that is tolerable to the owner or user of the asset.

5.7.5.2 The task shall confirm that all components covered by the failure mode description are functional.

5.7.5.3 The failure-finding task and associated interval selection process should take into account any probability that the task itself might leave the hidden function in a failed state.

5.7.5.4 It shall be physically possible to do the task at the specified intervals.

5.8 **Failure Management Policies—One-Time Changes and Run-to-Failure**

5.8.1 **ONE-TIME CHANGES**

5.8.1.1 The RCM process shall endeavor to extract the desired performance of the system as it is currently configured and operated by applying appropriate scheduled tasks.

5.8.1.2 In cases where such tasks cannot be found, one-time changes to the asset or system may be necessary, subject to the following criteria.

5.8.1.2.1 In cases where the failure is hidden, and the associated multiple failure has safety or environmental consequences, a one-time change that reduces the probability of the multiple failure to a level tolerable to the owner or user of the asset is compulsory.

5.8.1.2.2 In cases where the failure mode is evident and has safety or environmental consequences, a one-time change that reduces the probability of the failure mode to a level tolerable to the owner or user of the asset is compulsory.

5.8.1.2.3 In cases where the failure mode is hidden, and the associated multiple failure does not have safety or environmental consequences, any one-time change must be cost-effective in the opinion of the owner or user of the asset.

5.8.1.2.4 In cases where the failure mode is evident and does not have safety or environmental consequences, any one-time change must be cost-effective in the opinion of the owner or user of the asset.

5.8.2 **RUN-TO-FAILURE**—Any run-to-failure policy that is selected shall satisfy the appropriate criterion as follows:

5.8.2.1 In cases where the failure is hidden and there is no appropriate scheduled task, the associated multiple failure shall not have safety or environmental consequences.

5.8.2.2 In cases where the failure is evident and there is no appropriate scheduled task, the associated failure mode shall not have safety or environmental consequences.

5.9 **A Living Program**

5.9.1 This document recognizes that (a) much of the data used in the initial analysis are inherently imprecise, and that more precise data will become available in time, (b) the way in which the asset is used, together with associated performance expectations, will also change with time, and (c) maintenance technology continues to evolve. Thus a periodic review is necessary if the RCM-derived asset management program is to ensure that the assets continue to fulfill the current functional expectations of their owners and users.

- 5.9.2 Therefore any RCM process shall provide for a periodic review of both the information used to support the decisions and the decisions themselves. The process used to conduct such a review shall ensure that all seven questions in Section 5 continue to be answered satisfactorily and in a manner consistent with the criteria set out in 5.1 through 5.8.

5.10 Mathematical and Statistical Formulae

- 5.10.1 Any mathematical and statistical formulae that are used in the application of the process (especially those used to compute the intervals of any tasks) shall be logically robust, and shall be available to and approved by the owner or user of the asset.

6. Notes

- 6.1 **Key words**—Condition-based maintenance, predictive maintenance, preventive maintenance, proactive maintenance, RCM, reliability centered maintenance, scheduled maintenance

Maintainability

B-1. Introduction to statistical distribution

Many statistical distributions are used to model various reliability and maintainability parameters. The particular distribution used depends on the nature of the data being analyzed.

a. *Exponential and Weibull.* These two distributions are commonly used for reliability modeling – the exponential is used because of its simplicity and because it has been shown in many cases to fit electronic equipment failure data, and the Weibull because it consists of a family of different distributions that can be used to fit a wide variety of data and it models wearout (i.e., an increasing hazard function).

b. *Normal and lognormal.* Although also used to model reliability, the normal and lognormal distributions are more often used to model repair times. In this application, the normal is most applicable to simple maintenance tasks that consistently require a fixed amount of time to complete with little variation. The lognormal is applicable to maintenance tasks where the task time and frequency vary, which is often the case for complex systems and products.

B-2. The exponential distribution

The exponential distribution is widely used to model electronic reliability failures in the operating domain that tend to exhibit a constant failure rate. To fail exponentially means that the distribution of failure times fits the exponential distribution as shown in table B-1. The characteristics of the exponential distribution are listed in table B-2. figure B-1 shows the exponential pdf for varying values of λ .

Table B-1. Summary of the exponential distribution

Probability Density Function	Reliability Function	Hazard Function

Table B-2. Characteristics of the exponential distribution

- It has a single parameter, λ , which is the mean. For reliability applications, λ called the failure rate.
- λ , the failure rate, is a constant. If an item has survived for t hours, the chance of it failing during

the next hour is the same as if it had just been placed in service.

- The mean-time-between-failure (MTBF) = $1/\lambda$.
- The mean of the distribution occurs at about the 63rd percentile. Thus, if an item with a 1000-hour MTBF had to operate continuously for 1000 hours, the probability of success (survival) would be only 37%.

Figure B-1. The exponential pdf for varying values of λ .

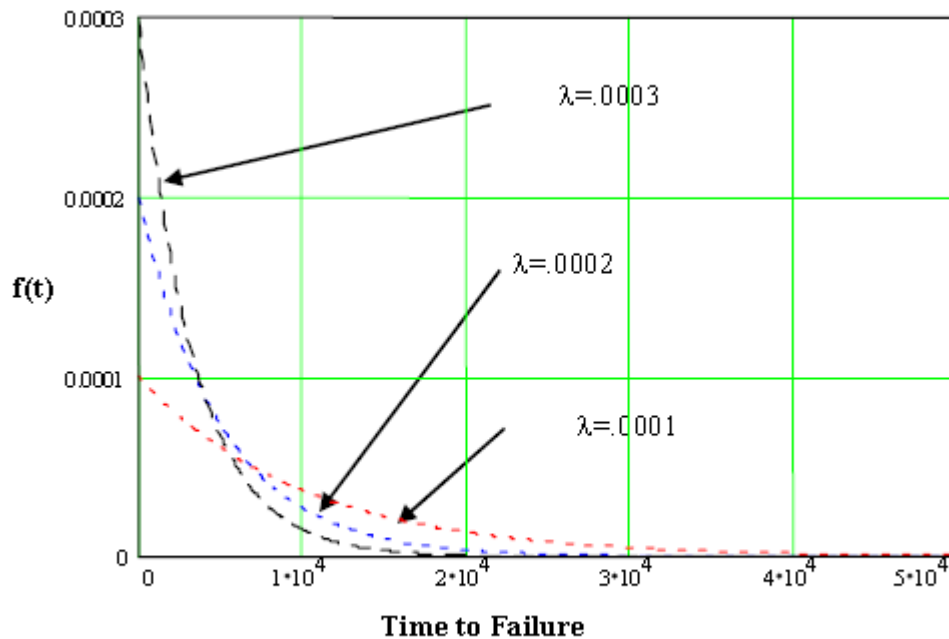


Figure B-1. The exponential pdf for varying values of λ .

B-3. The Weibull distribution

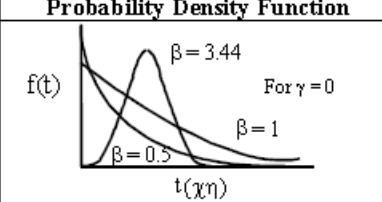
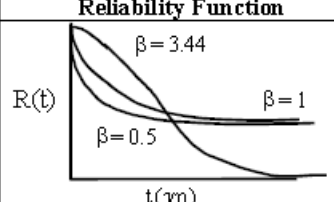
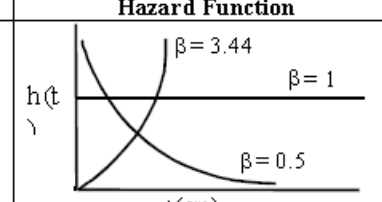
The Weibull distribution is an important distribution because it can be used to represent many different pdfs; therefore, it has many applications. The characteristics of the Weibull are shown in table B-3. The distribution is described in table B-4. Figure B-2 shows the 2-parameter Weibull pdf for different values of β and a given value of η .

Table B-3. Characteristics of the Weibull distribution

- It has 2 (β and η) or 3 (β , η , and γ) parameters.
 - The shape parameter, β , describes the shape of the pdf.
 - The scale parameter, η , is the 63rd percentile value of the distribution and is called the characteristic life. In some texts, θ is used as the symbol for the characteristic life.
 - The location parameter, γ , is the value that represents a failure-free or prior use period for the item. If there is no prior use or period where the probability of failure is zero, then $\gamma = 0$ and the Weibull distribution becomes 2-parameter distribution.
- β , η , and γ can be estimated using Weibull probability paper or software programs.

- When $\beta = 1$ and $\gamma = 0$, the Weibull is exactly equivalent to the exponential distribution.
- When $\beta = 3.44$, the Weibull closely approximates the normal distribution.

Table B-4. Summary of the Weibull distribution

Probability Density Function	Reliability Function	Hazard Function
 <p>For $\gamma = 0$</p> $f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \exp \left[- \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta \right]$	 $R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta \right]$	 $h(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta - 1}$

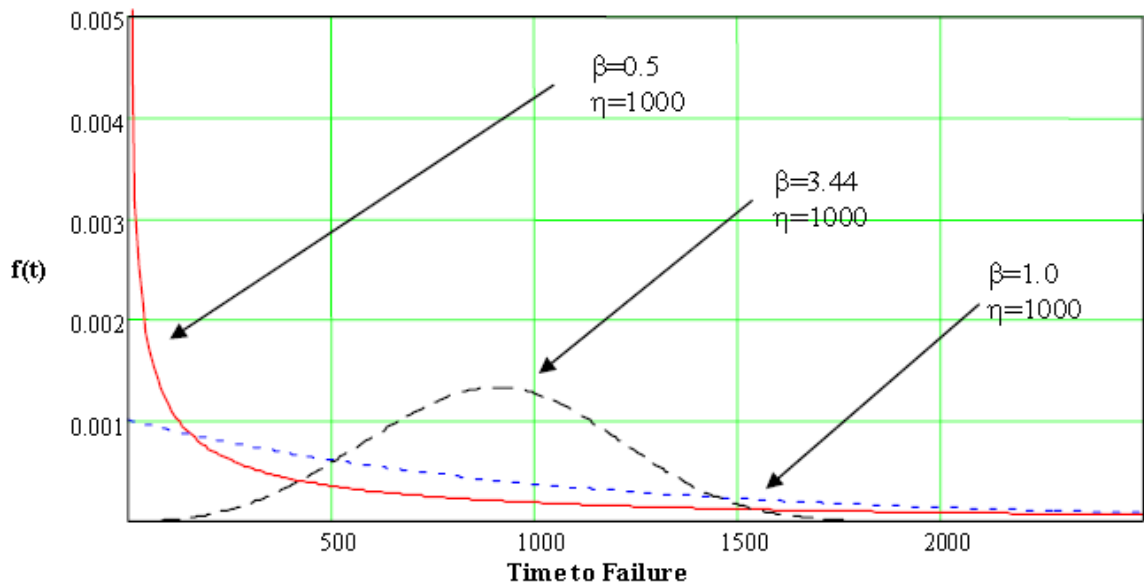


Figure B-2. The two-parameter Weibull pdf for different values of β and a given value of η .

B-4. The normal distribution

The pdf of the Normal distribution is often called the bell curve because of its distinctive shape. The Normal distribution is described in table B-5. The characteristics of the Normal distribution are shown in table B-6. Figure B-3 shows the normal pdf for different values of σ and a fixed value of μ .

Table B-5. Summary of the normal distribution

Probability Density Function	Reliability Function	Hazard Function
$f(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}}$	$R(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt$	$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$

Table B-6. Characteristics of the normal distribution

- It has two parameters:
 - The mean, μ , is the 50th percentile of the distribution. The distribution is symmetrical around the mean.
 - The standard deviation, σ , is a measure of the amount of spread in the distribution.
- If t has the pdf defined in figure B-5 and $\mu = 0$ and $\sigma = 1$, then t is said to have a standardized normal distribution.
- The integral of a distribution's pdf is its cumulative distribution function, used to derive the reliability function. The integral of the normal pdf cannot be evaluated using the Fundamental Theorem of Calculus because we cannot find a function for which the derivative equals $\exp(-x^2/2)$. However, numerical integration methods have been used to evaluate the integral and tabulate values for the standard normal distribution.

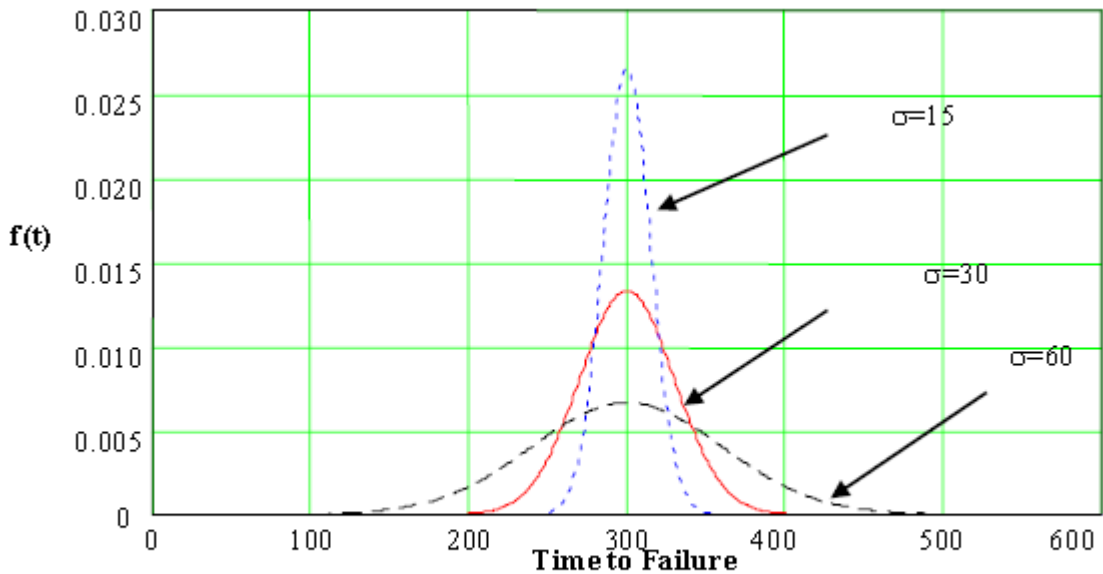


Figure B-3. The normal pdf for varying values of σ and a fixed μ .

B-5. The lognormal distribution

The lognormal distribution is summarized in table B-7. The characteristics of the lognormal distribution are shown in table B-8. Figure B-4 shows the distribution for different values of μ and σ .

Table B-7. Summary of the lognormal distribution

Probability Density Function	Reliability Function	Hazard Function
$f(t) = \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}}$	$R(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt$	$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$

Table B-8. Characteristics of the lognormal distribution

- It has two parameters:
 - The mean, μ . Unlike the mean of the Normal distribution, the mean of the lognormal is not the 50th percentile of the distribution and the distribution is not symmetrical around the mean.
 - The standard deviation, σ .
- The logarithms of the measurements of the parameter of interest (e.g., time to failure, time to repair) are normally distributed.

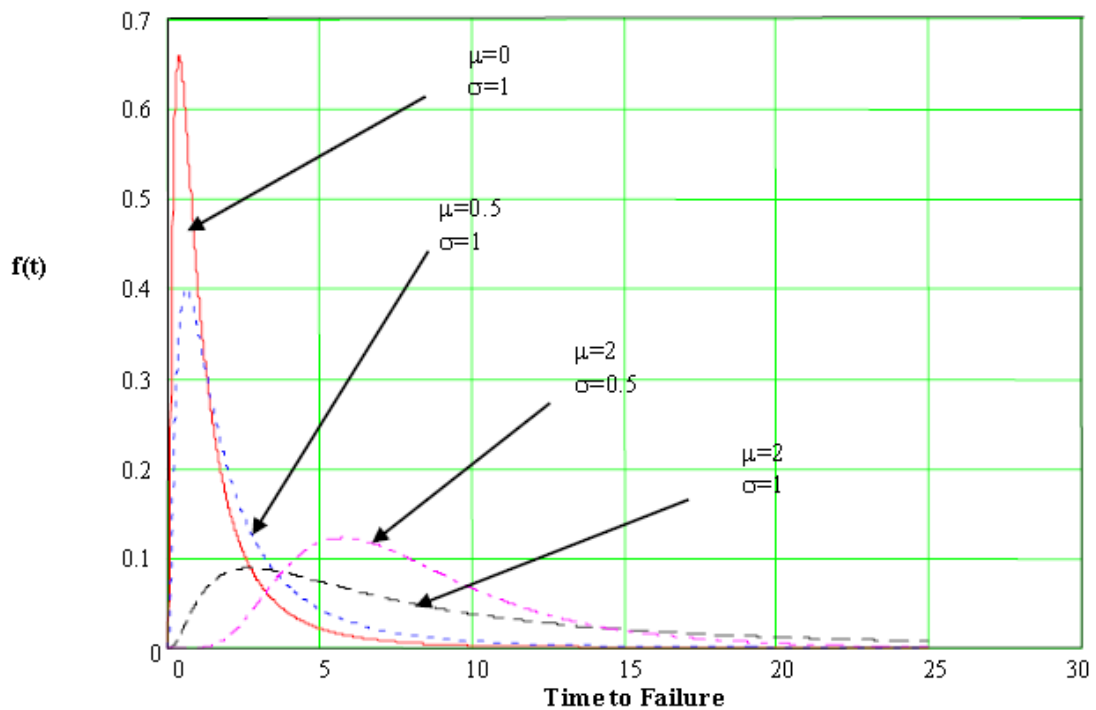


Figure B-4. The lognormal pdf for different values of μ and σ .

ANEXO C (NAVAIR 00-25-403)

Availability and Operational Readiness

C-1. Availability

In general, availability is the ability of a product or service to be ready for use when a customer wants to use it. That is, it is available if it is in the customer's possession and works when it's turned on or used. A product that's "in the shop" or is in the customer's possession but doesn't work is not available. Measures of availability are shown in table C-1.

Tabla C-1. Medidas de la disponibilidad

Measure	Equation	Description
Inherent Availability: A_i	$\frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$	<ul style="list-style-type: none"> Where MTBF is the mean time between failure and MTTR is the mean time to repair A probabilistic measure Reflects the instantaneous probability that a component will be up. A_i considers only downtime for repair due to failures. No logistics delay time, preventative maintenance, etc. is included.
Operational Availability: A_o	$\frac{MTBM}{MTBM + MDT}$	<ul style="list-style-type: none"> Where MTBM is the mean time between maintenance (preventive and corrective) and MDT is the mean downtime, which includes MTTR and all other time involved with downtime such as logistic delays A probabilistic measure Similar to inherent availability but includes ALL downtime. Included is downtime for corrective maintenance and preventative maintenance, including any logistics delay time.

- MTBF = Mean Time Between Failure
- MTBM = Mean Time Between Maintenance
- MDT = Mean Downtime
- MTTR = Mean Time to Repair (corrective only)

a. *Nature of the equations.* Note that the equations are time independent and probabilistic in nature. The value of availability yielded by each equation is the same whether the period of performance being considered is 1 hour or a year.

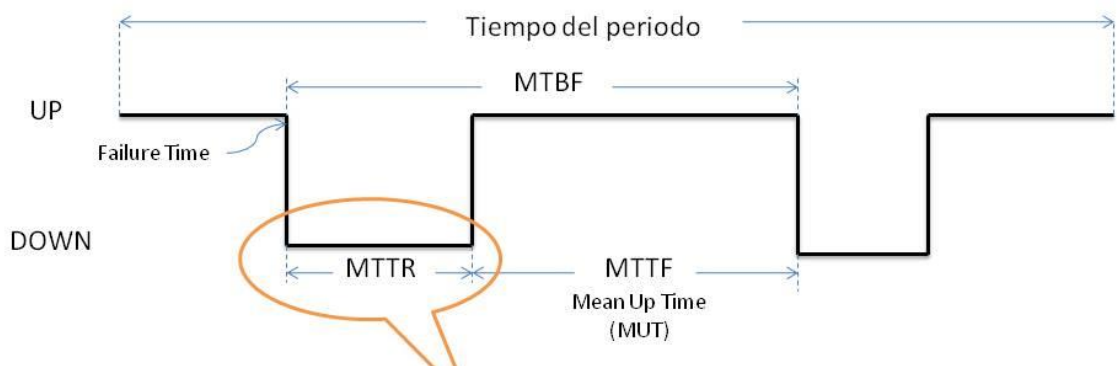
b. *Derivation of steady state equation for availability.* The equations in table C-1 are steady state equations. The equation for inherent availability (equation C-1), for example, is the steady state equation derived from equation C-2, as time approaches infinity:

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad \text{Equation C-1}$$

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} + \frac{MTTR}{MTBF + MTTR} e^{-\left(\frac{1}{MTBF} + \frac{1}{MTTR}\right)t} \quad \text{Equation C-2}$$

1. Equation C-1 represents a limit for inherent availability. It represents the long-term proportion of time that a system will be operational.

2. Assuming that the times to failure and time to repair are both exponentially distributed, with rates λ and μ , respectively



ANEXO D (Formatos de la Norma MIL-STD 3034)

Formato D-1. Master Systems and Subsystems Index (OPNAV FORM 4790/114)

1. SWAB GROUP NUMBER	2. NOMENCLATURE		3. SHIP CLASS	SH OF
4. PREPARED BY DATE	5. REVIEWED BY DATE	6. APPROVED BY DATE	7. REVISION DATE	
8. SWAB SUBGROUP/SYSTEM/ SUBSYSTEM NUMBER	9. SUBGROUP/SYSTEM/SUBSYSTEM NOMENCLATURE			
				10. SERIAL NUMBER

MASTER SYSTEMS AND SUBSYSTEMS INDEX
OPNAV 4790/114 (ED 2-82)

Formato D-2. Functional Failure Analysis (OPNAV FORM 4790/116)

1. SWAB NUMBER	2. NOMENCLATURE		3. SHIP CLASS	SH OF
4. PREPARED BY DATE	5. REVIEWED BY DATE	6. APPROVED BY DATE	7. REVISION DATE	
8. SOURCES OF INFORMATION				
9. DESCRIPTION (Add additional sheet, if necessary)				
10. FUNCTIONS AND OUT INTERFACES				
11. SYSTEM IN INTERFACES				
12. FUNCTIONAL FAILURES				
				13. SERIAL NUMBER

FUNCTIONAL FAILURE ANALYSIS
OPNAV 4790/116 (ED 2-82)

Formato D-3. Additional Functionally Significant Items Selection (OPNAV FORM 4790/117)

1. SWAB NUMBER	2. NOMENCLATURE FSI CANDIDATE		3. SHIP CLASS	SH 1 OF 105
4. PREPARED BY DATE	5. REVIEWED BY DATE	6. APPROVED BY DATE	7. REVISION DATE	
8. DESCRIPTION			9. LOCATION	
			10. QTY	
11. FUNCTIONS			11A. IMPACT? (Y/N)	
ARE ANY OF THESE FUNCTIONS NECESSARY FOR SAFETY, MOBILITY, OR MISSION?				
12. FUNCTIONAL FAILURES			12A. IMPACT? (Y/N)	
DO ANY OF THESE FAILURES HAVE A DIRECT ADVERSE IMPACT ON SAFETY?				
13. RELIABILITY			13A. IMPACT? (Y/N)	
IS THE ESTIMATED CORRECTIVE MAINTENANCE RATE GREATER THAN 1 PER YEAR?				
14. COST			14A. IMPACT? (Y/N)	
IS THIS ITEM'S PURCHASE COST GREATER THAN \$5000?				
15. MASTER FSI INDEX TRANSFER? (Y/N)		16. SERIAL NUMBER		

ADDITIONAL FUNCTIONALLY SIGNIFICANT ITEMS SELECTION
OPNAV 4790/117 (ED 2-82)

Formato D-4. Functionally Significant Items Index (OPNAV FORM 4790/118)

1. SYS/SUBSYS SWAB NUMBER	2. SYSTEM/SUBSYSTEM NOMENCLATURE		3. SHIP CLASS	SH 1
4. PREPARED BY	5. REVIEWED BY	6. APPROVED BY	7. REVISION	
DATE	DATE	DATE	DATE	
8. SWAB NUMBER	9. NOMENCLATURE		10. LOCATION	

FUNCTIONALLY SIGNIFICANT ITEMS INDEX
OPNAV 4790/118 (ED 2-82)

Formato D-5. Failure Modes and Effects Analysis (OPNAV FORM 4790/119)

1. SWAB NUMBER		2. NOMENCLATURE			3. SHIP CLASS	SH OF
4. PREPARED BY DATE		5. REVIEWED BY DATE		6. APPROVED BY DATE		7. REVISION DATE
8. FUNCTION(S)	9. FUNCTIONAL FAILURES	10. DOMINANT FAILURE MODES	11. FAILURE EFFECTS: a. LOCAL b. SUBSYSTEM c. SYSTEM			12. TRANSFER (Y/N)
						13. SERIAL NUMBER

ANALYSIS

FAILURE MODES AND EFFECTS

OPNAV 4 790 119 (ED 2-82)

Formato D-6. Logic Tree Analysis (OPNAV FORM 4790/120)

1. SWAB NUMBER		2. NOMENCLATURE					3. SHIP CLASS	SH OF		
4. PREPARED BY DATE			5. REVIEWED BY DATE		6. APPROVED BY DATE		7. REVISION DATE			
8. FUNCTIONAL FAILURE/ FAILURE MODE	9. CRITICALITY ANALYSIS (1) (2) (3)			10. CRITICALITY CLASS (A) (B) (C) (D)		11. PM TASK? (Y/N) (4, 5, 6, 7)	12. FAILURE-FINDING TASK? (8)	13. REDESIGN? SERIAL NO.	14. TASK DESCRIPTIONS	15. PERIODICITY
									16. SERIAL NUMBER	

SIS
2-82)

LOGIC TREE ANALY
OPNAV 4790/120 (ED

Formato D-7. Service and Lubrication Analysis OPNAV 4790/121 (ED 2-82)

1. SWAB NUMBER		2. NOMENCLATURE				3. SHIP CLASS		SH	OF
4. PREPARED BY		5. REVIEWED BY		6. APPROVED BY			7. REVISION		
DATE		DATE		DATE			DATE		
8. ITEM AND TASK DESCRIPTION		9. LOCATION	10. QUANTITY	11. PREVIOUS PERIODICITY	12. MATERIAL SPECIFICATION	13. ANALYSIS DECISION	14. EXPLANATION		

ANALYSIS

SERVICING AND LUBRICATION

OPNAV 4790/121 (ED 2-82)

Formato D-8. Maintenance Requirement Index (MRI) (OPNAV Form 4790/123)

SHIP SYSTEM, SYSTEM, SUBSYSTEM OR EQUIPMENT	ACTIVITY/CONTRACT NO:	LOCAL CONTROL NO:	DATE PAGE OF
MAINTENANCE REQUIREMENT DESCRIPTION			MRC CODE
			DEVELOPER

RECORD		EXAMINATION	CREATE AND DEVELOP							
PRESENT METHOD	<input type="radio"/> OP <input type="checkbox"/> INSP		<u>ANALYSIS</u> 1. WHAT 2. WHERE 3. WHEN 4. HOW 5. WHY	<u>IMPROVED METHOD</u> ELIMINATE SIMPLIFY COMBINE CHANGE SEQUENCE	<input type="radio"/> OP <input type="checkbox"/> INSP		TOOLS, PARTS, MATERIAL TEST EQUIPMENT	WARNINGS CAUTIONS NOTES	RELATED MAINT	NO MEN AND RATE
	SYMBOL	TIME			SYMBOL	TIME				

Formato D-10. Maintenance Requirement Task Definition (OPNAV Form 4790/124)

1. SYS/SUBSYS SWAB NUMBER	2. SYSTEM/SUBSYSTEM NOMENCLATURE		3. SHIP CLASS	SH OF
4. PREPARED BY DATE	5. REVIEWED BY DATE	6. APPROVED BY DATE	7. REVISION DATE	
8. EQUIPMENT NOMENCLATURE		9. QTY. INSTALLED	10. REFERENCE MRC	
11. MAINTENANCE REQUIREMENT DESCRIPTION (TASK)			13. PERIODICITY	
12. SAFETY PRECAUTIONS			14. RATES	M/H
			15. TOTAL M/H	
			16. ELAPSED TIME	
17. TOOLS, PARTS, MATERIALS, TEST EQUIPMENT				
18. PROCEDURE				
19. SHIP'S CREW? (Y/N)		20. LEVEL: (a) (b)		
21. LOCATION			22. SERIAL NUMBER	

TASK DEFINITION
OPNAV 4790/124 (ED 2-82)

Formato D-11. Inactive Equipment Maintenance (OPNAV Form 4790/129)

EQUIPMENT:			ACTIVITY/CONTRACT NO:		LOCAL CONTROL NO:		Date Page of		
1. What degradation will occur if equipment is inactive while ship is: (a) operational? (b) in an industrial environment?	2. Determine IEM requirements		3. Considering cost and resource expenditures, are the requirements of columns 2a and 2b worthwhile?		4. Establish IEM categories (LU, FM, SU, OT) for justified Mtrs in column 3. Establish periodicity for PM requirements.		5. List available maintenance procedures that will satisfy justified requirements of columns 3 and 4. Indicate source (TM, OP, MRC, etc.)	6. Recommended IEM periodicities.	7. Source for IEM: (S) Existing MR (M) Modified MR (N) New develop
	2a. What maintenance actions will protect and maintain inactive equipment?	2b. What maintenance actions are required to reactivate equipment?	Yes /n	Justify	Periodicity	Justify			

INACTIVE EQUIPMENT MAINTENANCE REQUIREMENT

ANALYSIS

OPNAV 4790/129 (ED 2-82)

Formato D-12. Maintenance Effectiveness Review (MER) Analyzed 09/12/200

DISTRIBUTION STATEMENT D:

Distribution authorized to DOD components and DOD contractors only; Critical Technology; January 2002. Other requests for this document shall be referred to Naval Sea Systems Command (SEA 04RM). Destroy by any method that will prevent disclosure of contents or reconstruction of the document.

Date: January 2002**MIP Series:** 4111**Periodicity:** M-1

Location:

Ship System: Command and Control 410
System: Data Display Group 411
SubSystem: AN/UYQ-21(V) Tactical Data Display Set 4111
Equipment: OJ-471(V)1,2,3 Display Control Console 4111

Rates	Man- Hours	Rates	Man- Hours	Rates	Man- Hours
ET/FC3	0.1				
Total Man- Hours:	0.1	Elapsed Time:	0.1		

MAINTENANCE REQUIREMENT DESCRIPTION

1. Test Overtemperature and Battle Short Indicators.
-

SAFETY PRECAUTIONS

1. Forces afloat comply with NAVOSH Program Manual for Forces Afloat, OPNAVINST 5100.19 series; shore activities comply with NAVOSH Program Manual, OPNAVINST 5100.23 series.
-

TOOLS, PARTS, MATERIALS, TEST EQUIPMENTNone

PROCEDURE**Preliminary**

- a. Ensure cooling water is being supplied to console.
 - b. Set following controls fully counterclockwise:
 - (1) CRO CONTRAST
 - (2) AUX CONTRAST
 - c. Set power control panel POWER circuit breaker to ON. Verify POWER ON indicator is lit.
 - d. Set power control panel DIMMER control fully clockwise.
-

1. Test Overtemperature and Battle Short Indicators.

NOTE 1 : **Statement of Relevance** - This task checks the battle short and the overtemperature circuitry.

- a. Press and hold OVERTEMP TEST switch. Verify overtemperature buzzer sounds and OVERTEMP indicator lights.
- b. Press and release BUZZER RESET. Verify overtemperature buzzer is silent and OVERTEMP indicator remains lit.
- c. Release OVERTEMP TEST switch. Verify OVERTEMP indicator extinguishes.
- d. Lift up BATTLE SHORT switch cover and set BATTLE SHORT switch to ON. Verify BATTLE SHORT indicator lights.
- e. Set BATTLE SHORT switch to OFF and close cover. Verify BATTLE SHORT indicator extinguishes.
- f. Return equipment to readiness condition.

ANEXO E (Norma MIL-STD-3034)

(Parte de la metodología RCM utilizada)

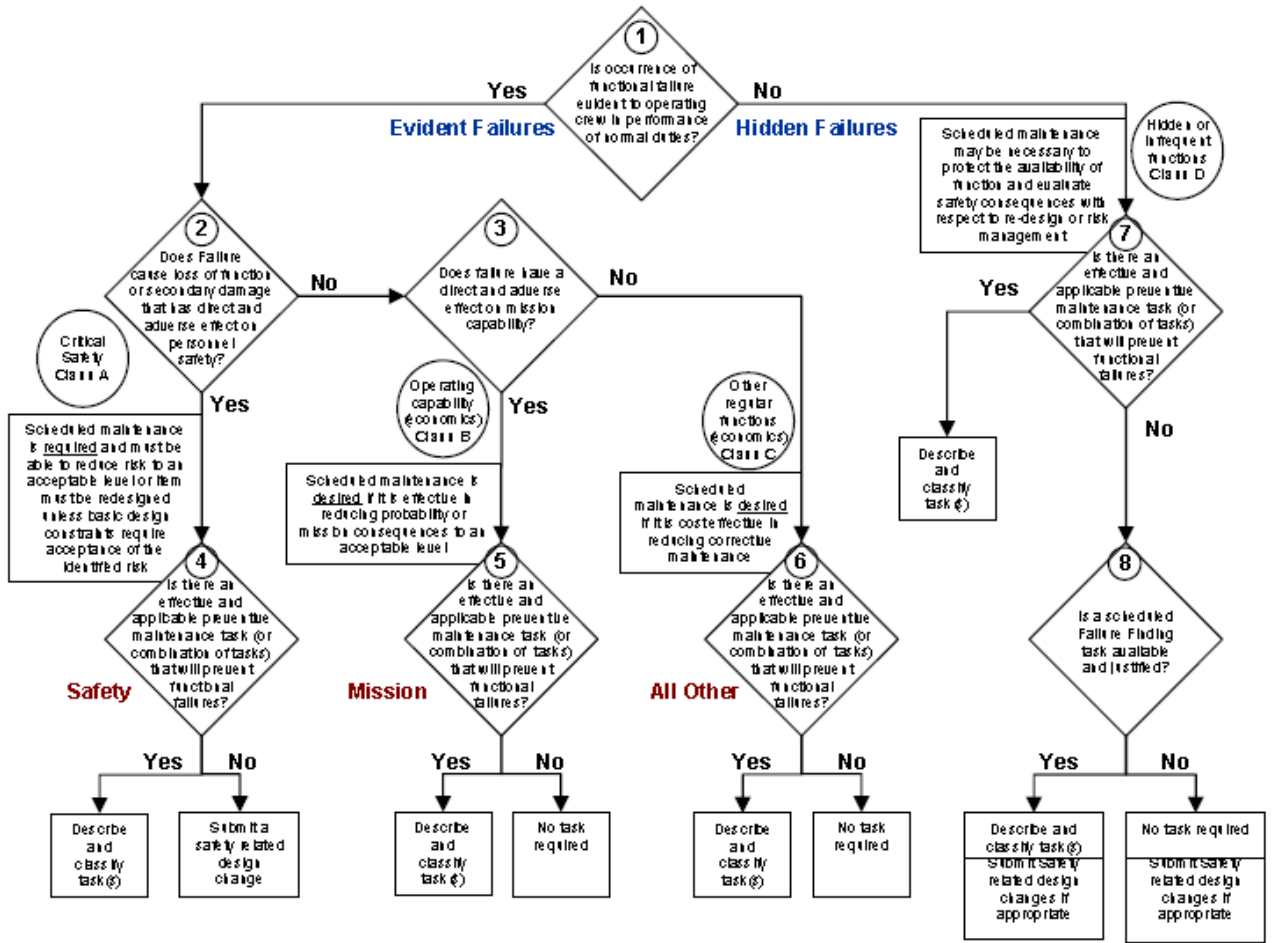
RCM process. RCM is the process used to determine the maintenance requirements for new and in-service equipment or systems. The process is composed of up to twelve phases. RCM development in structured phases ensures that every maintenance action specified in a maintenance package can be justified in accordance with the fundamental RCM principles used by both Do and commercial entities.

The initial maintenance package provides the baseline for system expectations. As operational experience is developed (failure data, inspection results, etc.), the maintenance package will be monitored and improved as required.

RCM development shall be accomplished in phases as specified in the acquisition document. The twelve phases of the RCM development process are:

- a. Phase 1 – System partitioning and functional block diagram (FBD). Partitioning along major system and subsystem boundaries to facilitate analysis and specify analysis boundaries (scope) and approach (see 5.1.1).
- b. Phase 2 – Functional failure analysis (FFA). Analysis of the functions of systems and subsystems and of the ways in which those functions can fail (see 5.1.2).
- c. Phase 3 – Additional functionally significant item selection (AFSI). Selection of the additional functionally significant items (AFSIs) (see 5.1.3).
- d. Phase 4 – Failure modes and effects analysis (FMEA). Analysis of the failure modes and effects of failure (see 5.1.4) of the FSIs.
- e. Phase 5 – Decision logic tree analysis (LTA) (see 5.1.5).
- f. Phase 6 – Servicing and lubrication analysis. Analysis of servicing and lubrication task requirements (see 5.1.6).
- g. Phase 7 – Inactive equipment maintenance (IEM) task identification (see 5.1.7).
- h. Phase 8 – Corrective maintenance task identification (see 5.1.8).
- i. Phase 9 – Maintenance requirements index (MRI) (see 5.1.9).
- j. Phase 10 – Maintenance requirement task definition (see 5.1.10).
- k. Phase 11 – Maintenance procedure validation (see 5.1.11).
- l. Phase 12 – Maintenance requirement card (MRC) and maintenance index page (MIP). Development and preparation of MRCs and formulation into MIPs (see 5.1.12).

5.1.5 Phase 5 – Decision logic tree analysis (LTA) (figure 4). The decision logic tree analysis (LTA) (see figure 4) is a series of yes or no questions that assist the analyst in determining the need for and availability of applicable and effective preventive maintenance tasks. When there is no appropriate task that is both applicable and effective at preventing the failure the decision logic tree directs secondary failure management policies (actions) that are appropriate to risk associated with the failure. The analysis of servicing and lubrication task requirements (see 3.20.7) will be addressed in Phase 6.



ANEXO F . (NAVAIR 00-25-403-Caso de estudio)

Engineering, 2010, 2, 863-873

doi:10.4236/eng.2010.211109 Published Online November 2010 (<http://www.scirp.org/journal/eng>).

Copyright © 2010 SciRes. *ENG*

Reliability-Centered Maintenance Methodology and Application: A Case Study

Islam H. Afefy

Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Fayoum University, Al Fayoum, Egypt

E-mail: Islamhelaly@yahoo.com

Received September 15, 2010; revised September 27, 2010; accepted October 19, 2010

Abstract

This paper describes the application of reliability-centered maintenance methodology to the development of maintenance plan for a steam-process plant. The main objective of reliability-centered maintenance is the cost-effective maintenance of the plant components inherent reliability value. The process-steam plant consists of fire-tube boiler, steam distribution, dryer, feed-water pump and process heater. Within this context, a maintenance program for the plant is carried out based on this reliability-centered maintenance concept.

Applying of the reliability-centered maintenance methodology showed that the main time between failures for the plant equipments and the probability of sudden equipment failures are decreased. The proposed labor program is carried out. The results show that the labor cost decreases from 295200 \$/year to 220800 \$/year (about 25.8% of the total labor cost) for the proposed preventive maintenance planning. Moreover, the downtime cost of the plant components is investigated. The proposed PM planning results indicate a saving of about 80% of the total downtime cost as compared with that of current maintenance. In addition, the proposed spare parts programs for the plant components are generated. The results show that about 22.17% of the annual spare parts cost are saved when proposed preventive maintenance planning other current maintenance once. Based on these results, the application of the predictive maintenance should be applied.

Keywords: Reliability, RCM, Preventive Maintenance, FMEA, Case Study

1. Introduction

Steam system is an important part of many processing. Maintenance, availability, reliability and total maintenance reliability cost are some of the most important factors of steam-process plant. The plant provides heat energy to Egyptian Minerals and Salts Company (EMISAL), EL-Fayoum, Egypt. The main product of the company is sodium sulphate unhydrous and sodium chloride.

This work aims to generate a maintenance program that based on the RCM technique for the process-steam plant components. This technique should be able to minimize the downtime (DT) and improve the availability of the plant components. Also, it should benefits to decrease the spare parts consumption system components.

RCM is a systematic approach to determine the maintenance requirements of plant and equipment in its operating [1]. It is used to optimize preventive maintenance (PM) strategies. The developed PM programs minimize

equipment failures and provide industrial plants with effective equipment [2]. RCM is one of the best known and most used devices to preserve the operational efficiency of the steam system. RCM operates by balancing the high corrective maintenance costs with the cost of programmed (preventive or predictive) polices, taking into account the potential shortening of "useful life" of the item considered. But it is difficult to select suitable maintenance strategy for each piece of equipment and each failure mode, for the great quantity of equipment and uncertain factors of maintenance strategy decision [3,4].

RCM philosophy employs preventive maintenance, predictive maintenance (PdM), real-time monitoring (RTM), run-to-failure (RTF) and proactive maintenance techniques in an integrated manner to increase the probability that a machine or component will function in the required manner over its design life cycle with a minimum of maintenance [5,6].

2. Reliability-Centered Maintenance Methodology

Reliability-centered maintenance (RCM) is the optimum mix of reactive, time or interval-based, condition-based, and proactive maintenance practices. These principal maintenance strategies, rather than being applied independently, are integrated to take advantage of their respective strengths in order to maximize facility and equipment reliability while minimizing life-cycle costs.

Total productive maintenance (TPM), total maintenance assurance, preventive maintenance, reliability-centered maintenance (RCM), and many other innovative approaches to maintenance problems all aim at enhancing the effectiveness of machines to ultimately improve productivity [7].

2.1. Reliability-Centered Maintenance Components

The components of RCM program are shown in **Figure 1**. This figure showing that RCM program consists of (reactive maintenance, preventive maintenance, condition based maintenance, and proactive maintenance) and its patterns.

As shown in **Figure 2**, the RCM steps are presented. The steps describe the systematic approach used to implement the preserves the system function, identifies failure mode, priorities failure used to implement the preserves the system function, identifies failure mode, priorities failure modes and performs PM tasks. The RCM steps are as follows [8]:

- Step1: system selection and data collection.
- Step2: system boundary definition.
- Step3: system description and functional block.
- Step4: system function functional failures.
- Step5: failure mode effect analysis
- Step6: logic tree diagram.
- Step7: task selection.

2.2. System Selection and Data Collection

Determining the list of the system components is one of the first steps in RCM. The criticality analysis requires different kind of data of each component that build up the system. The effect of failure of the system main components may effect system productivity and maintenance cost. The factors effecting selection of critical system are as follows:

- 1) Mean-time between failures (MTBF).
- 2) Total maintenance cost.
- 3) Mean time to repair (MTTR).
- 4) Availability.

2.3. Logic Tree Analysis (LTA)

The basic (LTA) uses the decision tree structure shown in **Figure 3**. From this figure, decision bins: 1) safety-related, 2) outage-related, or 3) economic-related were noticed. Each failure mode is entered into the top box of the tree, where the first question is posed: Does the operator, in the normal course of his or her duties, know that something of an abnormal or detrimental nature has occurred in the plant? It is not necessary that the operator know exactly what is awry for the answer to be yes [6].

2.4. Criticality Analysis

Criticality analysis is a tool used to evaluate how equipment failures impact organizational performance in order to systematically rank plant assets for the purpose of work prioritization, material classification, PM/PdM development and reliability improvement initiatives [9]. In general, failure modes, effects and criticality analysis (FMEA/FMECA) requires the identification of the following basic information in **Table 1**. In **Figure 4**, algorithm for the calculation of equipments criticality is presented. This figure shows the calculation steps of the equipments criticality

The criticality is assessed based on the effect of ex-

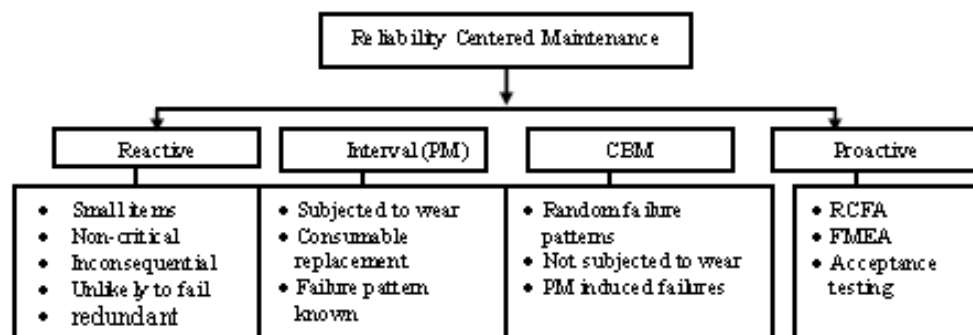


Figure 1. Components of RCM program.

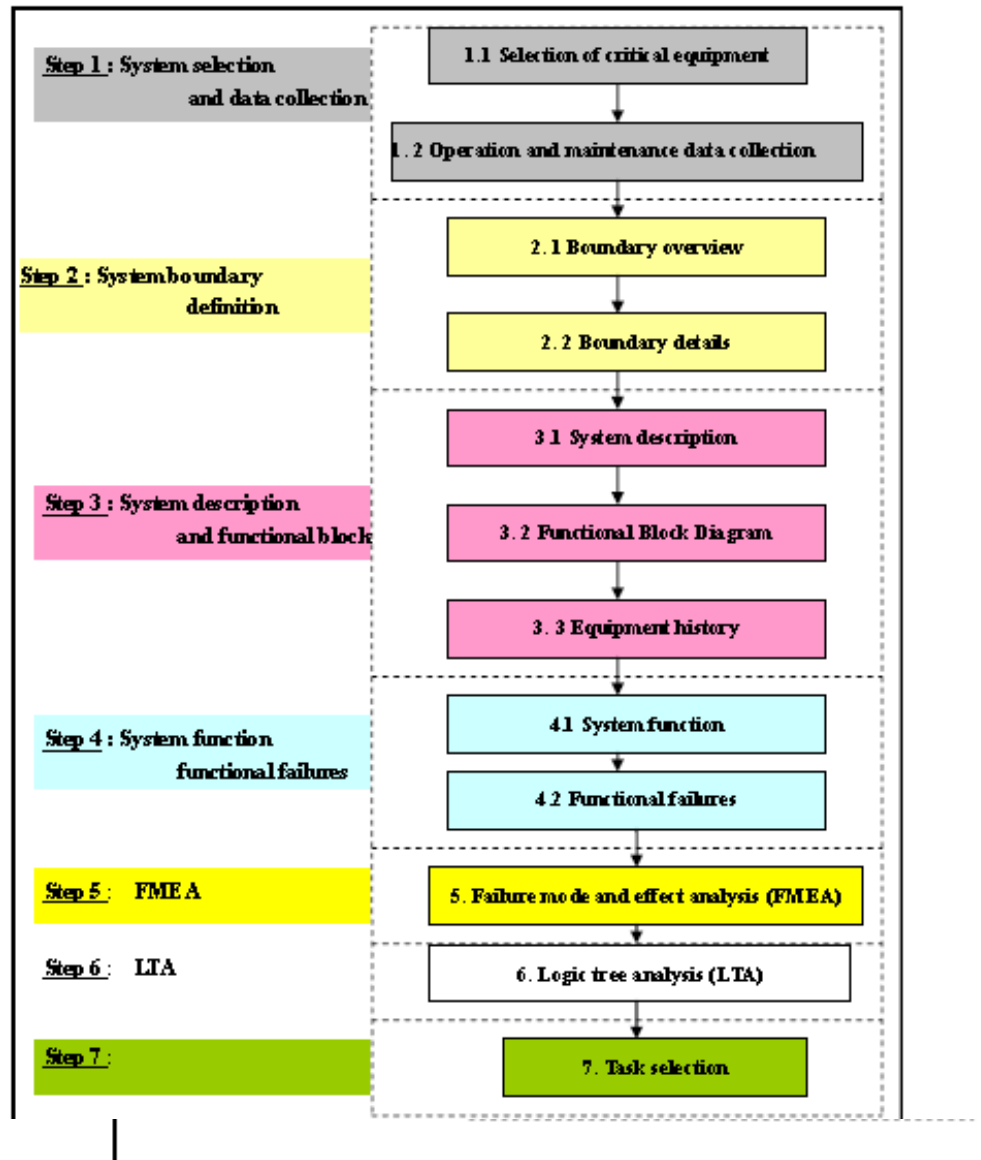


Figure 2. Main steps of the RCM.

rors/faults and on the time from the occurrence until the effect occurs on the installation and is quantified with 1, 2, 3 in **Table 1**.

$$EC = (30 \cdot P + 30 \cdot S + 25 \cdot A + 15 \cdot V) / 3 \quad (1)$$

where,

EC: is the equipment criticality, %

P: is the product

S: is the safety

A: is the equipment stand by

V: is the capital cost.

3. Case Study

We select the most critical system in the sodium chloride plant which contains the most critical items. The plant provides heat energy to perform the drying process for the sodium chloride anhydrous lead to the aimed degree.

3.1. System Description

The structure of the steam-process plant is presented in

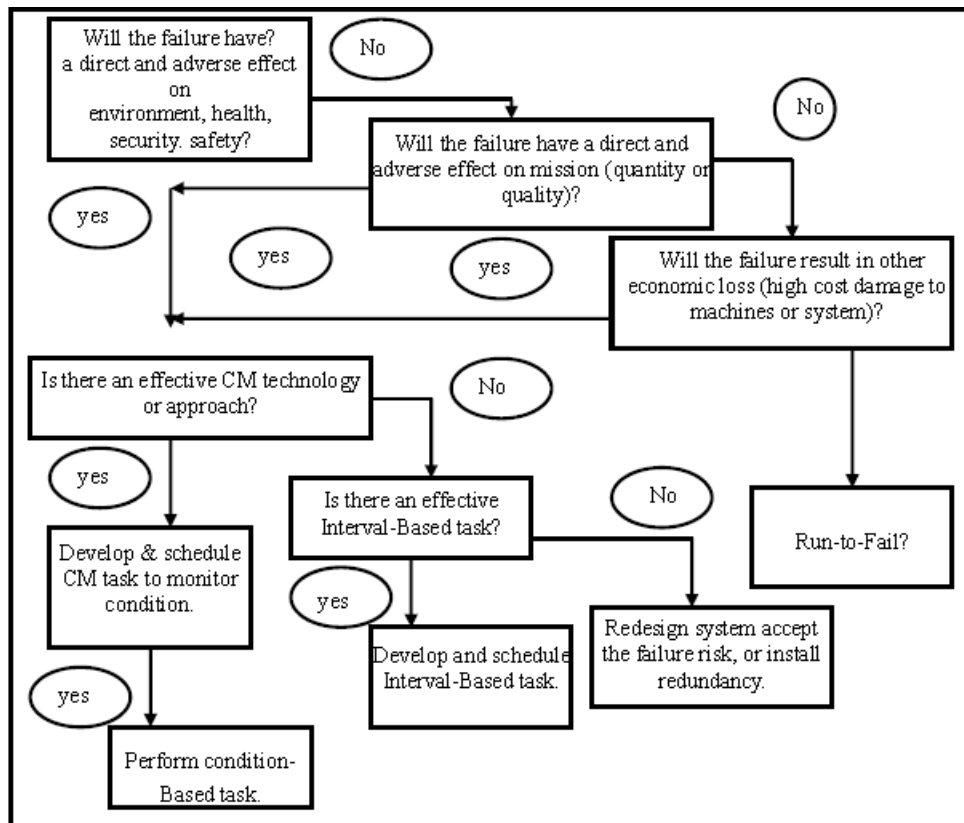


Figure 3. Reliability-centered maintenance (RCM) logic tree.

Table 1. Criticality analysis.

Criteria		Weight	Levels
Impact on production	P	30%	(3) Very important (2) Important (1) normal
Impact on safety	S	30%	(3) Very important (2) Important (1) normal
Availability of standby	A	25%	(3) Without standby (2) With stand by and medium availability, and (1) With stand by and high availability
Equipment value	V	15%	(3) High value (2) normal, and (1) Low value

Figure 5. The steam-process plant consists of a fire-tube boiler, feed-water pump, condensate tank, dryers and heat exchanger (PH).

Fire-tube boiler components are shown in Figure 6. A fire-tube boiler is a type of boilers in which hot gases from the fire pass through one or more tubes within the boiler. It is one of the two major types of boilers, the other being the water tube boiler. A fire tube boiler can be either horizontal or vertical. A fire-tube boiler is sometimes called a "smoke-tube" or "shell boiler" boiler.

3.2. System Boundary Definition

Some gross system definition and boundaries have been established in the normal course of the plant or facility design, and these system definitions have already been used as the basis of system selection. These same definitions serve quite well to initially define the precise boundaries that must be identified for the RCM analysis process [9].

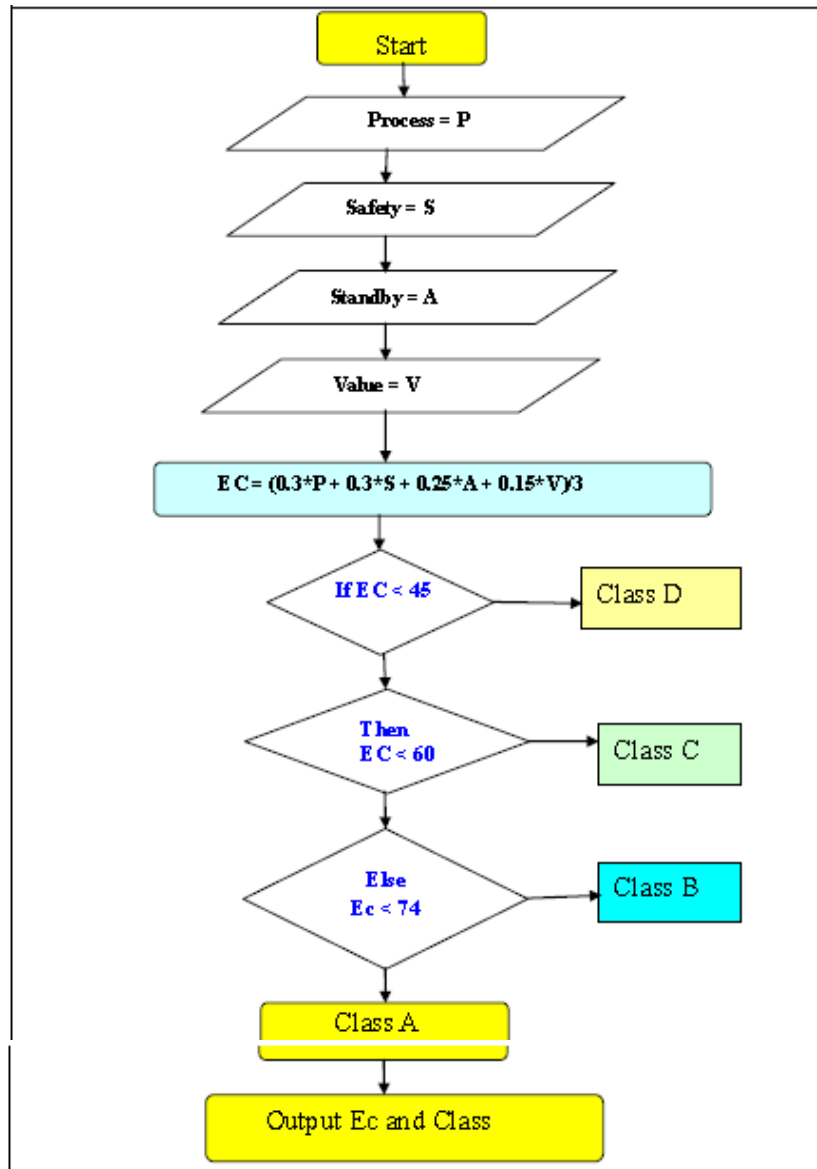


Figure 4. Algorithm for the calculation of equipments criticality.

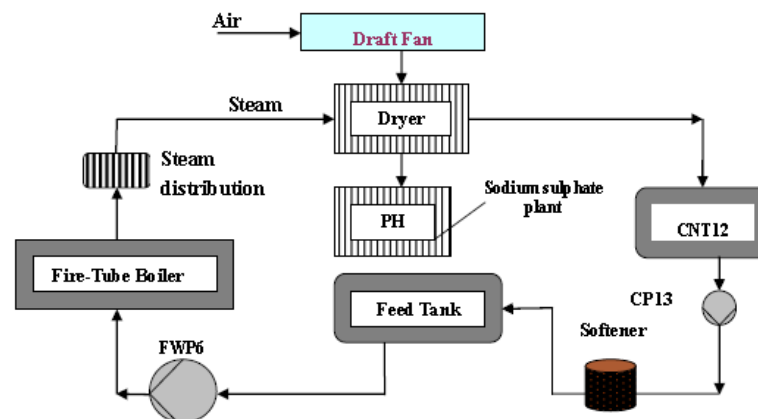


Figure 5. The structure of steam-process plant.

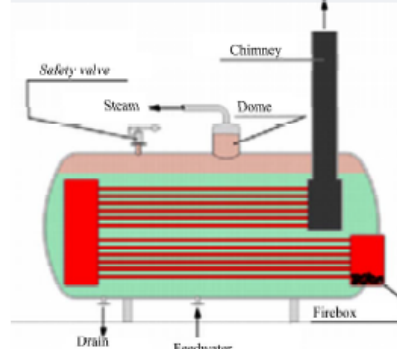


Figure 6. Fire-tube boiler.

3.2.1. Boundary Overview (see Table 2)

Table 2. Boundary overview.

1. Major facilities included:

- Concentration Ponds.
- Sodium Sulphate.
- Demineralization Plant.
- Sodium Chloride Plant.
- Central Laboratories.

2. primary Physical bondries:

- Brine entrance to the concentration ponds.
- Brine exit from the concentration ponds.
- Brine entrance to the sodium sulphate plant.
- Steam entrance to the sodium chloride plant.
- Ac electric power entrance to the sodium chloride plant
- Remain brine entrance to the sodium sulphate plant.
- Sodium chloride, as a product, exit from the sodium sulphate plant.
- Remain brine exit from the sodium chloride plant.

3.3. Information Collection

Uniformity, by researching some of the necessary system documents and information that will be needed in subsequent steps, the absence of documentation and data records was a huge problem that makes the system analysis process more difficult. Thus, a greater effort must be done to collect the missing data.

1) Some cards that contain few maintenance actions that have been under taken to some equipments.

2) Some of the operating and maintenance manuals for a few number of equipment.

All of the other information has been collected through a walk down through EMISAL faculties, and personal meeting with EMISAL staff. Fortunately, in most situations, there are plant personnel on site who have essential elements of this data stored either in their desks or their minds. Also Original Equipment Manufacturer (OEM) recommendation stands ready to supply some information.

3.4. Functional Block Diagram

The Functional block diagram for the process is introduced in Figure 7. This figure shows the input resource and output for the system main components.

3.5. System Root Cause Failure Analysis (RCFA)

As shown in Tables 3 and 4, root cause failure analysis for critical equipments in steam system (fire tube boiler and feeding pump) is presented. The cause analysis (failure mode, reason and root cause) for the most critical equipments in the steam system which is [9]:

- 1) Fire tube boiler.
- 2) Multi-stage centrifugal pump.

3.6. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure mode and effect analysis is a tool that examines potential product or process failures, evaluates risk priorities, and helps determine remedial actions to avoid identified problems. The spreadsheet format allows easy review of the analysis. Failure mode and effect analysis help on identifying and the creation of functional failure.

At the following tables (Tables 5 and 6) we will represent the failure Mode and effect analysis for the same two equipments we represent its root cause failure analysis [9]:

- 1) Fire-tube boiler.
- 2) Multi-stage centrifugal pump.

3.7. Criticality Analysis for Plant Components

Then the safety related effects take weight of 40%, Production related effects 40%, and the cost related effects 20%. The failure mode categories A, B, C, and D depending on the criticality index are as shown in Table 7. Tables 8 and 9 show the criticality analysis for boiler, pump, respectively.

3.8. Task Selection

A great strength of RCM is the way it provides simple, precise and easily understood criteria for deciding which

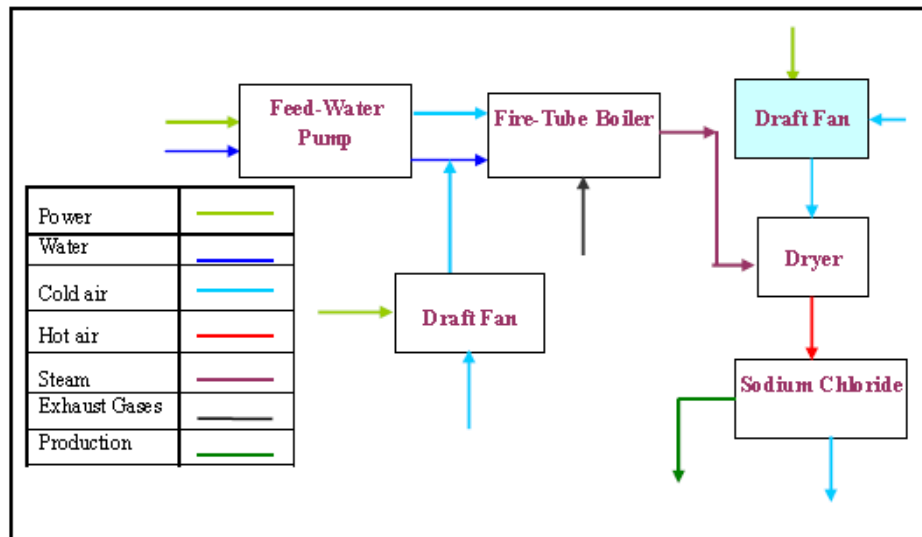


Figure 7. The functional block diagram.

Table 3. Boiler Root Cause Failure Analysis.

Failure Mode	Mechanism	Reason	Root Cause
Boiler low efficiency	Smoke stack	High temperature of stack gas	- Too much excess air - Dirty firesides
	Steam pressure	Low steam pressure	- Low water - Excessive steam demands - Poor combustion
	Combustion	Combustion gases entering fire room	- Leakage through sootblower casing seal
Boiler tubes corrosion	Fuel	Fuel impingement on furnace walls and tubes	- Incorrect viscosity, temperature, or pressure of fuel - Improperly made up atomize assemblies - water in fuel
		High fuel combustion	- Sudden change in steam demand - Too much or too little excess air

Table 4. Pump root cause failure analysis.

Failure Mode	Mechanism	Reason	Root Cause
Pump low efficiency	Discharge pressure	Low discharge pressure	- Water excessively hot
	Impeller	Low flow rate & Low delivery pressure	- Impeller damaged - Impeller loss on shaft
	oil	Loss or oil contamination	- Flooding of oil reservoir - Over filling of oil reservoir - Mechanical seal failure - Improper installation of bearing
Pump shutdown	Low flow	Operation condition	- Insufficient NPSH - Water excessively hot - Impeller damaged or loose on shaft
			Bearing
	Vibration	Operation condition Pump driver motor Bearing Mechanical seal	- Operation at low flow - Misalignment op pump drive motor - Worm bearing - Mechanical seal failure

Table 5. Boiler failure mode effect analysis.

Item	Failure Mode	Effect			LTA
		Local	System	Plant	
Check valve	Fails to open	Low effect	Low effect	No effect	Y
	Remain open	Low effect	Low effect	No effect	Y
	Crack valve	Low effect	Low effect	No effect	Y
Combustion room	Incorrect burner sequence	Boiler trip	Steam system trip	Production stooping	Y
	Too much fuel being fired	Boiler trip	Steam system trip	Production stooping	Y
	Too much excess air	Boiler low performance	Steam system trip	Lower production	Y
	Faulty flam detector	Boiler trip	Steam system trip	Production stooping	Y
	Combustion air very Low flow	Boiler trip	Steam system trip	Lower production	Y
	Combustion gas pass failure	Boiler trip	Steam system trip	Lower production	Y
Forced draft fan	Noise in motor	Boiler trip	Steam system trip	Low production	Y
Air filter	Dirt on surface	Low effect on boiler	Low effect	No effect	Y
Fumace	Hole in tube	Boiler low efficiency	Low output	Low effect	Y
Fuel system	Relieve valve damage	Boiler trip	Steam system trip	Production stooping	Y
	Faulty of the trip valve	Boiler trip	Steam system trip	Production stooping	Y
Piping system	Corrosion	Boiler shutdown	Steam system trip	Production stooping	Y
Safety valve	Fail to open	Boiler shutdown	Steam system trip	Low productivity	Y
Water softener	Water contamination	Boiler trip	Low output	Low productivity	Y
Feed water system	Pump trip	Boiler trip	Steam system trip	Production stooping	Y
Water softener	No softening	Boiler low efficiency	Lower production	No effect	Y
	Too much softening	Boiler low efficiency	Lower production	No effect	Y

Table 6. Pump failure mode effect analysis.

Item	Failure Mode	Effect			LTA
		Local	Boiler	Steam System	
Impeller	Worn impeller	- Pump low efficiency - Vibration - Reduce in suction power	Boiler trip	System trip	Y
Bearing	Faulty thrust bearing	- Excessive pump vibration - Motor may be overload - Increased in shaft radial movement - Eventual pump shutdown	Boiler shutdown	System shutdown	Y
Shaft	Shaft deforming	- Pump low efficiency - Vibration - Increase in shaft radial movement - Possible bearing damage - Eventual coupling failure	- Boiler low efficiency - low effect - low effect - low effect	- System low efficiency - low effect - low effect - low effect	N
Casing	Leaking casing	- Reduce pumping rate - Possible corrosion on all pump components	- Boiler low efficiency - low effect	- System low efficiency - low effect	N
Coupling	Faulty shaft coupling	- Losses of pumping efficiency - Noise and vibration on the pump - Possible seals damage - Eventually pump shutdown	- Boiler low efficiency - boiler shutdown - Boiler trip - Boiler trip	- System trip - System trip - System trip - System trip	Y
Ring	- Faulty impeller wear ring	- Internal liquid leakage - Eminent impeller wear - Potential corrosion effect on pump internals - Pump capacity greatly reduce.	- Boiler low efficiency - Boiler trip - Boiler trip - Boiler low efficiency	- System low efficiency - System trip - System trip - System low efficiency	Y

Table 7. Criticality group.

Group	Criticality Index
A	3 – 2.5
B	2.5 – 2
C	2 – 1.5
D	1.5 – 1

Table 8. Criticality analysis for boiler.

Equipment	Failure Mode	Failure Cause	Criticality Analysis			Criticality Index	Group
			Safety	Production	Cost		
Boiler	Excessive high steam outlet temperature	Too much excess air	2	1	3	1.4	D
		Incorrect burner sequence	3	2	1	2.2	B
		Too much fuel being fired	3	3	3	3	A
		Dirty generating surface	2	2	3	2.2	B
		Dirty economizer	3	3	3	3	A
	Low discharge pressure	Water excessively hot	1	3	1	1.8	C
	High temperature of stack gas	Too much excess air	2	1	3	1.8	C
		Dirty firesides	3	2	3	2.6	A
	Combustion gases entering fire room	Leakage through soot blower casing seal	3	3	3	3	A
		Leakage through economizer drain line	3	3	3	3	A

Table 9. Criticality analysis for the pump.

Equipment	Failure Mode	Failure Cause	Criticality Analysis			Criticality Index	Group
			Safety	Production	Cost		
Pump	Low discharge pressure	Water excessively hot	2	3	1	2.2	B
		Bent shaft	3	3	3	3	A
	High bearing temperature	Worm bearing	3	3	2	2.8	A
		Lack of lubrication	3	3	2	2.8	A
		Improper installation of bearing	3	3	2	2.8	A
	Pump casing overheats	Misalignment of pump drive motor	3	3	3	3	A
		Shaft sleeve worn	3	3	3	3	A
	Low flow	Impeller damaged or loose on shaft	3	3	3	3	A

(if any) of the proactive tasks is technically feasible in any context, and if so for deciding how often they should be done and who should do them.

Whether or not a proactive task is technically feasible is governed by the technical characteristics of the task and of the failure which it is meant to prevent. Whether it is worth doing is governed by how well it deals with the consequences of the failure. If a proactive task cannot be found which is both technically feasible and worth doing, then suitable default action must be taken. Maintenance tasks are consisting of run-to-failure (RTF), time-directed maintenance, condition-directed maintenance (CD)

and failure-finding (FF). The maintenance task for the boiler is illustrated in **Table 10**.

3.9. Maintenance Labor Force

The maintenance labor force is presented in **Table 11**. This table shows the size of maintenance labor force calculations for the PM levels (six monthly, monthly and weekly). In addition, the labor saving cost is introduced in **Table 12**. Not that the proposed labor cost (295200 \$/year) decreased with respect to the current values (220800 \$/year).

Table 10. Maintenance task.

Equipment	Failure Mode	Failure Cause	Group	Task	Description	Frequency
Boiler	Excessive high steam outlet temperature	Too much excess air	D	RTF
		Incorrect burner sequence	B	CD	Measure the diameter of the fuel opening holes inside burner	M
				TD	Replacement of fuel hose and gaskets	S
				FF	Check the deflector position	W
		Too much fuel being fired	A	CD	Measure the diameter of the fuel opening holes inside burner	M
		Dirty generating surface	B	CD	Cleaning generating surface	S
		Dirty economizer	A	CD	Measure the temperature of the stack gases	M

Table 11. The size of maintenance labor force.

PM Level	Frequency	Duration (Hours)	No. of Workers	Man-hour per PM level
Six Monthly	2	21	4	168
Monthly	10	5	2	100
Weakly	50	6.15	1	325

Maintenance labor force = 1 labor.

Table 12. Labor saving cost.

Item	Labor type	Number of labors Per day (current maintenance)	Number of labors Per day (proposed)
Engineers (1000\$/month)	Mechanical	5	4
	Electrical	5	4
	Control	5	4
Tech nicians (800\$/month)	Mechanical	6	4
	Electrical	6	4
Total cost (\$/year)		295 200	2208 00
Saving cost (%) = 25.2			

Downtime Cost

- Average CM downtime of the feed water pump = 20 hr/year.
- Average CM downtime of the fire tube boiler = 30 hr/year.
- Average CM downtime of the system auxiliaries = 10 hr/year.
- Average down cost rate = 10000 \$/hr
- Total downtime cost rate = 600,000 \$/year
- Proposed saving downtime cost = 480,000 \$/year

Spare Parts Program

The proposed spare parts program is shown in **Table 13**. This table shows that the spare parts for the plant main components (feed-water pump, water tube boiler and steam turbine). Proposed spare parts program results

indicate a saving of about 22.17% of the spare parts total cost as compared with that of the current maintenance (CM).

4. Conclusions

The results of the RCM technique applied of the plant show that the PM proposed tasks and planning are generated. Moreover, PM is consisted of on-condition and scheduled maintenance. The RCM had great impact on the PM tasks. The Run-To-Failure (RTF) frequency has been decreased. It is recommended to perform these tasks (CD, TD and FF) every yearly, six monthly and monthly.

Table 13. Proposed spare parts program (yearly).

Equipment	Spare part	Quantity (Current)	Cost (current) \$/year	Quantity (Proposed)	Cost (Proposed) \$/year
Feed water pump	Coupling	2	3000	1	1500
	Mechanical seal	6	12000	4	8000
	Motor bearing	6	24000	4	16000
	Pump bearing	6	12000	4	8000
Fire tube boiler	Gasket	12	12000	10	10000
	Fuel house	2	40000	2	40000
	Fan bearing	4	12000	2	6000
Total cost (\$/year)			115000		89500
Saving cost %				22.17	

The proposed labor program is carried out. The results show that the labor cost decreases from 295200 \$/year to 220800 \$/year (about 25.2% of the total labor cost) for the proposed PM planning. Moreover, the downtime cost (DTC) of the co-generation plant components is investigated. The proposed PM planning results indicate a saving of about 80% of the total downtime cost as compared with that of current maintenance (RTF). The system reliability increase with decreasing the labor cost.

The proposed spare parts program for the co-generation plant components (feed water pump, boiler and turbo-generator) are generated. The results show that about 22.17% of the annual spare parts cost are saved when proposed PM planning other current maintenance (RTF) once.

5. Acknowledgements

The author wishes to express his thanks to the staff members of the Egyptian Salts & Minerals Company (Emisal), El-Fayom, Egypt, for their support during carrying out this work.

6. References

[1] M. Dixey, "Putting Reliability at the Center of Maintenance," *Professional Engineering*, Vol. 6, No. 6, June 1993, pp. 23-25.

[2] S. A. Abdulrohman, O. D. Salih and A. Raouf, "RCM Concepts and Application: A Case Study," *International Journal of Industrial Engineering*, Vol. 7, No. 2, 2001, pp. 123-132.

[3] J. Wang and J. Chu, "Selection of Optimum Maintenance Strategies Based on a Fuzzy Analytic Hierarchy Process," *International Journal of Production Economics*, Vol. 107, No. 1, 2007, pp. 151-163.

[4] R. K. Sharma, D. Kumar and P. Kumar, "FLM to Select Suitable Maintenance Strategy in Process Industries Using MISO Model," *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 11, No. 4, 2005, pp. 359-374.

[5] The National Aeronautics and Space Administration "Reliability-Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment," NASA, Washington D.C. February 2000.

[6] A. M. Smith, "Reliability-Centered Maintenance," McGraw-Hill, New York, 1993.

[7] J. Shayeri, "Development of Computer-Aided Maintenance Resources Planning (CAMRP): A Case of Multiple CNC Machining Centers," *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 23, No. 6, 2007, pp. 614-623.

[8] M. Rausand, "Reliability-Centered Maintenance," *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 60, No. 1, 1998, pp. 121-132.

[9] A. H. Goma, "Maintenance Planning and Management: A Literature Study," American University in Cairo, Cairo 2003.

ANEXO G (NAVAIR 00-25-403)

Costos por Unidad de Operación

Option	Cost Per Unit Operating Time Equations
<p>Service and Lubrication</p>	<p>$SL_{OP} = C_{SL} / I_{SL}$</p> <p>Where:</p> <p>$SL_{OP}$ = Service/lubrication task cost per operating time</p> <p>C_{SL} = Cost Of One SL Task</p> <p>I_{SL} = Task Interval</p>
<p>On Condition</p>	<p>$OC_{OP} = ((C_{OC} / I_{OC}) * (L - (I_I - I_{OC})) / L) + C_R / MTBF$</p> <p>Where:</p> <p>$OC_{OP}$ = On-condition task cost per operating time</p> <p>C_{OC} = Cost Of One Inspection (Includes cost of material, labor, etc., for inspection but not repair costs)</p> <p>L = Item Design Life</p> <p>I_I = Initial Inspection Interval = Interval of time until the first inspection</p> <p>I_{OC} = Task Interval</p> <p>C_R = Average Repair Cost. Average cost of repairing all failures (both potential and functional failures) assuming the inspection is in place. Ensure secondary damage is included, as applicable, and, for hidden functions, include the cost of multiple failures in the functional failure portion of the cost. If operational impact has been converted to "cost", ensure it is included.</p> <p>NOTE: A large majority of the repair actions should be the repair of potential failures if the inspection and interval are appropriately selected. However, there may be significant costs associated with the remaining functional failures such that they should be considered in the cost evaluation.</p> <p>$MTBF$ = Mean time between failures (both potential and functional with task in place)</p>

<p>Hard Time</p>	<p>$HT_{OP} = [C_{HT}(S) + C_R(1-S)] / [(S) I_{HT} + (1-S) K I_{HT}]$</p> <p>Where:</p> <p>HT_{OP} = Hard time task cost per operating time</p> <p>C_{HT} = <i>Cost Of One HT</i> = Cost to perform one hard time task</p> <p>S = <i>Percent Survive</i> = Percentage of items that survive to the hard time limit</p> <p>I_{HT} = <i>Task Interval</i></p> <p>K = <i>Premature Failure Factor</i> = Average age of premature failures as a percentage of I_{HT}. (<i>Note:</i> $K I_{HT}$ is used to estimate MTTF of premature failures.)</p> <p>C_R = <i>Average Repair Cost</i>. Average cost of repair if HT task is not done and unit fails. Ensure secondary damage is included, and for hidden functions, include the cost of multiple failures. If operational impact has been converted to "cost", ensure it is included.</p>
<p>Failure Finding</p>	<p>$FF_{OP} = C_{FF} / I_{FF} + C_R / MTBF$</p> <p>Where:</p> <p>FF_{OP} = Failure Finding task cost per operating time</p> <p>C_{FF} = <i>Cost Of One Inspection</i> = Cost to perform one Failure Finding inspection</p> <p>I_{FF} = <i>Task Interval</i></p> <p>C_R = <i>Average Repair Cost</i>. Average cost of repairing the functional failures considering those found by the inspection and those that become evident by multiple failures not prevented. Include operational impact if it has been converted to "cost".</p> <p>$MTBF$ = <i>Mean time between failures (with task in place)</i></p>
<p>No PM</p>	<p>$NO_{OP} = C_R / MTBF$</p> <p>Where:</p> <p>NO_{OP} = "No PM" cost per operating time</p> <p>C_R = <i>Average Repair Cost</i> Average cost to repair the functional failure and secondary damage. For hidden functions, include the cost of multiple failures. Include operational impact if it has been converted to "cost".</p> <p>$MTBF$ = <i>Mean time between failures (with no task in place)</i></p>
	<p>$OA_{OP} = C_{OA} / L_R$</p>
<p>Other Action</p>	<p>$OA_{OP} = C_{OA} / L_R$</p> <p>Where:</p> <p>OA_{OP} = "Other action" cost per operating time</p> <p>C_{OA} = <i>Cost of Other Action</i>. Total cost to develop and implement "Other Action"</p> <p>L_R = <i>Remaining life of system</i></p>

Fuente: NAVAIR (2103). Guidelines for the Naval Aviation Reliability-Centered Maintenance Process (5-9)

Nota: Las ecuaciones de costo son sólo aproximaciones y se basan en suposiciones.
