



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ACATLAN



POLITICAS DE MANTENIMIENTO PARA LA UNIDAD DE ADMINISTRACION ESCOLAR
EN LAS AERONAVES DC-9

SEMINARIO TALLER EXTRACURRICULAR
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
LICENCIADO EN MATEMATICAS APLICADAS Y COMPUTACION

PRESENTA:
KARLA MAGALI MARTINEZ AGUILERA

ASESOR: MAESTRO JUAN MIGUEL RAMIREZ ZOZAYA

OCTUBRE 2004



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Dedicatoria

Dedico este proyecto:

A mi madre,

a mi esposo y

a mis hijos con todo mi amor.

Agradecimientos

A mi asesor: Mtro. Juan Miguel Ramírez Zozaya.

A mis profesores de seminario:

Act. Hugo Reyes Martínez.

Act. Luz María Lavín Alanís.

Lic. Juan Torres Lovera.

Mtro. Ignacio Lizarraga Gaudry.

A mis profesores de carrera:

Mtra. Ma. Carmen González V.

Ing. Rubén Romero R.

Act. Beatríz Arreola R.

Y de forma muy especial al Dr. Sergio V. Chapa V. por ayudarme a cumplir una meta más en mi vida.

Autoriza a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e imprimir el contenido de mi trabajo recepcionado.
 NOMBRE: Karla Magali Martínez Aguilera
 FECHA: 25 Octubre 2004
 FIRMA: [Firma]

Índice general

Introducción	1
1. Importancia del mantenimiento en la Aeronáutica	3
1.1. Teoría del mantenimiento	3
1.1.1. Reseña histórica del mantenimiento	4
1.1.2. Objetivos del servicio de mantenimiento	6
1.1.3. Políticas en la administración del mantenimiento	7
1.1.4. Conceptos básicos para la elaboración de un plan de mantenimiento	8
1.1.5. Tipos de mantenimiento	9
1.2. Confiabilidad, Disponibilidad y Reemplazo	17
1.2.1. Teoría de la confiabilidad	17
1.2.2. Confiabilidad de los sistemas	24
1.2.3. Teoría de disponibilidad de componentes y sistemas	30
1.2.4. Teoría de reemplazo preventivo	32
1.3. El mantenimiento de la Unidad de Velocidad Constante	36
1.3.1. Descripción de la UVC	37

1.3.2.	Especificaciones y criterios de mantenimiento	39
1.3.3.	La planeación como método de análisis para el problema de mantenimiento de la UVC.	39
1.4.	Conclusiones	41
2.	Planteamiento del problema y definición de políticas de mantenimiento	45
2.1.	Planteamiento del problema de mantenimiento de la UVC	45
2.1.1.	Formulación del problema	45
2.1.2.	Definición de objetivos y metas	46
2.2.	Estrategia de solución	47
2.2.1.	Recolección de la información	47
2.2.2.	Análisis de la información	51
2.2.3.	Exploración estadística de los datos	57
2.2.4.	Análisis por grupos: procedencia y variables	59
2.3.	Definición de políticas de mantenimiento	67
2.3.1.	Políticas Técnicas	67
2.3.2.	Políticas Administrativas	68
2.4.	Conclusiones	70
3.	Establecimiento de Políticas y Escenarios Propuestos	73
3.1.	Establecimiento de las políticas propuestas	73
3.1.1.	Técnicas	73
3.1.2.	Administrativas	78

3.2. Sistema Computarizado para la Administración del Mantenimiento	79
3.2.1. Nivel de gestión y control del mantenimiento	80
3.2.2. Nivel de mejora continua del mantenimiento	83
3.2.3. Tecnología y arquitectura del SCAM	85
3.2.4. Metodología de diseño del SCAM	89
3.2.5. Validación de políticas.	99
3.3. Evaluación de la propuesta	101
3.4. Escenarios	102
3.4.1. Definición de variables	103
3.4.2. Escala de medición de variables	105
3.4.3. Escenarios para los años 2005, 2010 y 2015	106
3.4.4. Estudio de los escenarios	109
3.5. Conclusiones	113
Conclusiones Generales	117
Apéndice: Base de Datos.	125

Índice de figuras

1.1. Etapas del RCM	13
1.2. Probabilidad de falla	21
1.3. Tasa de falla	23
1.4. Condensadores colocados en paralelo	26
1.5. Condensadores colocados en serie	26
1.6. Unidad de velocidad constante en el equipo DC-9	37
1.7. Transmisión de la unidad de velocidad constante.	38
2.1. Forma de registro individual de unidades.	48
2.2. Gráfica estadística de diferencias de tiempos promedios de las UVC usadas y nuevas.	63
2.3. Gráfica estadística de las diferencias de costos de las UVC usadas y nuevas.	64
2.4. Gráfica comparativa entre la UVC usadas y nuevas.	65
3.1. Diagrama lógico simplificado para la elección del mantenimiento	75
3.2. Estructura piramidal de los niveles de mantenimiento	80
3.3. Entorno de los distintos módulos que intervienen alrededor del núcleo del SCAM.	83

3.4. Núcleo del SCAM: las tecnologías de la información y la base de datos de mantenimiento.	85
3.5. Arquitectura del Sistema Computarizado para la Administración del Mantenimiento	87
3.6. Vistas de la base de datos	93
3.7. Diagrama de tareas de la etapa de integración	94
3.8. Panorama de la metodología en donde intervienen la implantación de las políticas	99
3.9. Diagrama de flujo para la validación de las políticas.	100

Introducción

En la actualidad el desarrollo tecnológico ha propiciado que los sistemas económicos, de ingeniería y administrativos se presenten como sistemas complejos. En ellos intervienen una gran cantidad de componentes que funcionan de manera autónoma, con una interrelación que provoca un comportamiento global que determina la calidad del funcionamiento total del sistema. Existen claros ejemplos de sistemas complejos: la industria aeronáutica, plantas petroquímicas, plantas nucleoelectricas, entre otras. En todas ellas, el denominador común es mantener una alta productividad, la cual se relaciona con la disponibilidad del servicio, la confiabilidad del equipo y, en casos importantes, la seguridad de los sistemas.

En aeronáutica el mantenimiento de la Unidad de Velocidad Constante (UVC), componente de los generadores localizados en los turborreactores de los equipos DC-9 pertenecientes a una compañía de aviación comercial, es un problema central. La falta de políticas confiables ocasiona el incumplimiento de las metas de mantenimiento de la UVC, propiciando una gran motivación para el desarrollo de este trabajo.

Por consiguiente, el objetivo del presente trabajo es el planteamiento del problema con una metodología de solución que permita establecer políticas de mantenimiento en un nivel de gestión y control con una visión hacia la mejora continua del mantenimiento.

Este trabajo está estructurado en tres capítulos. El primero, presenta el marco teórico del mantenimiento. Se inicia con aspectos básicos relacionados con la función del mantenimiento, desde sus antecedentes históricos hasta los tipos y niveles de mejora continua que se manejan actualmente, como son: el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, mejor conocido por sus siglas en inglés "RCM" (Reliability Centered Maintenance), el cual está orientado hacia la seguridad y alto rendimiento de equipos tales como las aeronaves y el Mantenimiento de Productividad Total "TPM", del inglés Total Productive Maintenance el cual está dirigido hacia los procesos de producción. Con el fin de lograr una mejor comprensión del programa "RCM", se abordan las teorías de Confiabilidad, Disponibilidad y Reemplazo; las cuales dan sustento teórico a dicho programa. Posteriormente se trata el tema del mantenimiento ya en forma particular de la UVC, finalizando el capítulo

con el diagnóstico del problema desde el enfoque de la Planeación y utilizándola como metodología de análisis.

En el capítulo dos, se lleva al cabo el planteamiento y desarrollo de una solución llegando a la definición de las políticas de mantenimiento. La estrategia de solución se basa en un análisis de la información con la determinación de una base de datos, para dar paso a la exploración y análisis estadístico de la información obtenida del departamento de planeación y control correspondiente al área de mantenimiento de la empresa. Posteriormente se definen las políticas de mantenimiento para la UVC, que, apoyados en el análisis mencionado anteriormente, se recomiendan para incrementar el rendimiento de la UVC y a su vez reducir costos.

Por último, en el capítulo tres se llevan al cabo el establecimiento de dichas políticas. Dentro de un enfoque actual, la instrumentación mediante la tecnología de la información conduce al planteamiento de un Sistema Computarizado para la Administración del Mantenimiento (SCAM). El objetivo principal es tener el mecanismo automatizado para implementación de las políticas que permita alcanzar con éxito el control del mantenimiento y el programa de "RCM". Posteriormente, se presenta la evaluación del trabajo y se finaliza con tres escenarios posibles en tres períodos de tiempo: 2005, 2010 y 2015.

Las conclusiones se derivan de los resultados de los capítulo dos en donde se presentan una serie de observaciones y propuestas. Principalmente, por lo planteado en el capítulo tres en donde el planteamiento de las políticas particulares se inserta dentro de los niveles del mantenimiento que sirven de entorno a nuestra propuesta de un SCAM.

Capítulo 1

Importancia del mantenimiento en la Aeronáutica

Objetivo.

Definir los aspectos básicos relacionados con la función del mantenimiento dentro de un marco teórico e histórico, a través de las teorías de confiabilidad, disponibilidad, reemplazo y su relación con la Aeronáutica.

1.1. Teoría del mantenimiento

La importancia del mantenimiento ha ido evolucionando a través del tiempo. Anteriormente, el concepto de “mantenimiento” se manejaba de manera implícita en diversos campos; sin embargo, el crecimiento industrial y desarrollo tecnológico propiciaron la necesidad de definir formalmente el concepto.

Definición 1.1 *Se entiende por mantenimiento la función empresarial a la que se encomienda el “control constante de revisión y reparación necesaria para garantizar el funcionamiento óptimo y el buen estado de conservación de las instalaciones e instrumentación de los establecimientos”.*¹

¹Baldin A. y Furlantetto L., Manual de mantenimiento de instalaciones industriales, Editorial G. Gilli, 1982.

Según la definición anterior, la función de mantenimiento se caracteriza por el desarrollo de un servicio en favor de la producción buscando siempre el óptimo.

1.1.1. Reseña histórica del mantenimiento

En la antigüedad, los problemas eran bastante más sencillos que en la actualidad: no existían máquinas automatizadas, los procesos continuos eran raros, la maquinaria era lenta y poco compleja, las producciones unitarias eran bajas, la maquinaria se confiaba a los cuidados del operador (a esto se le denominaba sistema caballero-caballo).

Pasando del campo técnico al económico, el costo horario de la mano de obra era mucho más bajo que ahora y el mercado se desenvolvía a menudo en régimen de monopolios. Durante todo este período, las industrias descartaban cualquier actividad que no pudiera analizarse bajo el aspecto costo-beneficio, incluyendo el mantenimiento que se consideraba un gasto y no como un factor productivo y creativo, el cual cambiaría con la mecanización y el aumento en el número de máquinas en funcionamiento.

Debido a:

- el elevado costo inicial de la instalación y, en consecuencia, la necesidad de una utilización completa y racional de la misma en condiciones de máximo rendimiento;
- la repercusión negativa en la producción, ocasionada por los paros en las instalaciones muy integradas o que de alguna manera condicionan el desarrollo del ciclo productivo;
- el elevado nivel de complejidad de la maquinaria y la creciente automatización de los sistemas,

surge la necesidad de buscar métodos que permitan encontrar un equilibrio técnico-económico y, de los cuales, los problemas de mantenimiento encuentren soluciones eficaces y eficientes. De esta manera, el administrador, se proveería de metodologías administrativo-matemáticas que le permitieran construir procedimientos y evaluarlos cuantitativamente.

Al terminar la reconstrucción de la postguerra (hacia los años 1950), se empieza a hablar del mantenimiento en sentido moderno por parte de las direcciones de las industrias, a consecuencia de las pérdidas de producción y de la degeneración de calidad. Es por esto, que se ponen en práctica planes de mantenimiento preventivo que ya preveían intervalos fijos para el desmontaje total de las máquinas. Surge entonces en la industria automotriz

japonesa (Toyota y asociados) un nuevo concepto de mantenimiento: Mantenimiento de Productividad Total "TPM"; donde se buscaba la reducción al máximo de tiempo perdido en todas las etapas de producción y de los costos que esto generaba, el cero-defectos en la producción y el máximo redimiento y capacitación de sus empleados.

Mientras tanto las industrias eléctrica, espacial y de transporte aéreo, por su propia naturaleza, necesitaban instrumentos más sofisticados y por lo mismo más seguros. La industria aeronáutica, para aumentar la seguridad de los vuelos y disminuir los paros en escalas técnicas de la aeronave, pone en práctica un conjunto de técnicas de inspección basadas en la medida de ciertos parámetros durante el funcionamiento de la nave (no en la descomposición de un componente en piezas sueltas) que deben mantenerse dentro de límites preestablecidos, según cuadro 1.1.

<i>Tipo de avión</i>	<i>costo: a paro por hr. vuelo</i>	<i>costo: b personal de mant.</i>	<i>Relación a/b</i>
Lockhead Electra	8	16	0.5
Boeing 707	38	20	1.9
Douglas DC 10	66	28	2.4
Boeing 747	125	39	3.2

Cuadro 1.1 Costos por paros vs. costos por mantenimiento

En el cuadro 1.1 se muestra cómo al aumentar la complejidad y sofisticación del avión, los costos debido al paro crecen más que los costos de mantenimiento. De aquí, la necesidad de reducir el número y duración de los paros de mantenimiento.

En Inglaterra se creó el concepto llamado *Mantenimiento Basado en la Condición* (Condition Based Maintenance), según el cual la intervención no depende del tiempo del funcionamiento de la aeronave, sino de las condiciones efectivas del componente o sus elementos, así como de la seguridad determinada del sistema. El resultado fue un nuevo enfoque en el concepto de mantenimiento.

Al final de los años 50's la aviación comercial mundial seguía sufriendo más de 60 accidentes por millón de despegues. Dos tercios de los accidentes ocurridos en estos años eran causados por fallas en los equipos. Esto motivó a la industria aérea comercial a replantear el enfoque del mantenimiento de sus equipos con base en la confiabilidad de los mismos.

En la década de los 60's surge entonces el *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad*, mejor conocido como "RCM" (Reliability Centered Maintenance). Este proceso tiene la finalidad de ayudar a las personas a determinar las mejores políticas para mejorar las funciones de los activos físicos y para manejar las consecuencias de sus fallas.

El RCM fue definido originalmente por los empleados de United Airlines: Stanley Nowlan y Howard Heap en su libro "Reliability Centered Maintenance". Este libro fue la acumulación de 20 años de investigación y experimentación con la aviación comercial de los Estados Unidos, un proceso que produjo el documento presentado en 1968, llamado "Evaluación del Mantenimiento y Desarrollo del Programa", y el documento presentado en 1970 llamado "Planeación de Programas de Mantenimiento para Fabricantes/Aerolíneas", ambos documentos fueron patrocinados por la Asociación del Transporte Aéreo de América.

Aprovechando la experiencia de la aviación comercial, el Departamento de la Defensa Nacional de los Estados Unidos se propuso desarrollar procesos RCM para su propio uso: uno para el ejército, otro para la fuerza aérea y dos para la armada.

Por otra parte, el Instituto para la Investigación de la Energía Eléctrica de ese país volcó su atención en optimizar el RCM. Este proceso modificado fue adoptado sobre una base ampliamente industrial por el sector de energía nuclear norteamericana en 1987, y subsecuentemente se adoptaron variaciones de su enfoque por otras compañías nucleares, por algunas otras ramas de la generación eléctrica y distribución industrial petrolera.

1.1.2. Objetivos del servicio de mantenimiento

La utilización correcta y prolongada de una máquina en particular o de una instalación en general, produce el desgaste con una disminución progresiva de sus prestaciones hasta llegar al punto de interrumpirlas. En todos los casos, además de los gastos de reemplazo o reparación, estas interrupciones producen pérdidas de la producción y del servicio provocando también, degradación de la calidad.

En otras palabras, un mantenimiento bien o mal organizado puede incidir de manera considerable en los costos por pérdidas de la producción o degradación de la calidad (costos inducidos). Cuando por efecto del envejecimiento y desgaste, la instalación deja de cumplir sus objetivos, una posibilidad para devolverle su utilidad es la acción del mantenimiento y otra opción es el de reemplazarla. La acción correctiva deberá aplicarse sólo cuando sea conveniente económicamente hablando.

Por lo anterior, se establecen como objetivos del mantenimiento los siguientes puntos:

1. La máxima producción al menor costo, la más alta calidad y los óptimos estándares de seguridad.
2. Identificar e implementar la reducción de costos.
3. Proveer registros actualizados de mantenimiento de los equipos.

4. Reunir la información necesaria de los costos por mantenimiento.
5. Optimizar los recursos de mantenimiento.
6. Optimizar la vida útil del equipo.
7. Minimizar el uso de energía.
8. Minimizar el inventario disponible.

Los responsables de la administración del servicio de mantenimiento deberán resolver los problemas siguientes:

- a) Determinar los tipos de mantenimiento a efectuar.
- b) Dimensionar adecuadamente los medios técnicos, económicos y humanos de mantenimiento.
- c) Decidir qué trabajos se van a contratar de acuerdo con la legislación y los convenios laborales.
- d) Determinar, de acuerdo a datos cuantitativos, la calidad y cantidad de recambios así como de materiales comunes.

Con todo esto, el mantenimiento deja de ser una actividad auxiliar para convertirse en una función que contribuye al nivel de la productividad. No hay que olvidar que con el aumento del costo del dinero, la función financiera de la empresa puede considerar más conveniente ahorrar capital mediante acciones de mantenimiento en lugar de invertir en instalaciones y equipos nuevos.

1.1.3. Políticas en la administración del mantenimiento

Se entiende por política aquella norma para seleccionar un curso de acción, una norma para decidir². Una política apropiada, es una norma que toma en consideración las condiciones pertinentes al tiempo en que se necesita la acción. Las políticas, por lo tanto, permiten el uso de toda la información relacionada que puede conseguirse al momento de la decisión.

Establecen condiciones de frontera de modo que esas acciones y decisiones son orientadas para alcanzar un objetivo. Las políticas le permiten a la administración como tal, operar sin intervención constante y una vez establecida, permite a otros trabajar dentro

²B.Page Stephen, Establishing a System of Policies and Procedures, Process Improvement Pub. May 2002

de ese marco normativo. Ayudan a reducir el rango de decisiones individuales y alienta la administración por excepción. El administrador sólo necesita dar atención especial a aquellos problemas inusuales, que no están cubiertos por una política específica. Mientras un mayor número de políticas sean elaboradas para cubrir situaciones recurrentes, los administradores comenzarán a tomar decisiones que serán consistentes en el proceso funcional desde un área a la siguiente.

Las metas para cualquier compañía, deberán ser entonces, las decisiones consistentes y objetivas. Éstas reflejan frecuentemente una visión en acción y ayudarán a integrar metas estratégicas en las decisiones administrativas de manera cotidiana.

Es muy común en el campo empresarial escuchar la pregunta:

¿Porqué es conveniente establecer y/o renovar las políticas si la compañía ha venido operando por años sin ellas o con las mismas.?

La Mayoría de las empresas confían solamente en instrucciones verbales o en una serie de memorándums internos. En una organización corporativa, la administración debe instalar cualquier control interno si considera vital y necesario la continuidad del buen estado de la compañía; el control existe por y para la administración. Al sistema de control le concierne todos aquellos aspectos que contribuyen a la existencia y al buen estado de una organización, en cuyo caso, la administración se asegura que las decisiones tomadas por sus empleados vayan acorde a sus políticas.

1.1.4. Conceptos básicos para la elaboración de un plan de mantenimiento

Debido a que el costo de mantenimiento de equipos se ha convertido en un componente importante del costo total de producción es necesario elaborar un buen plan de mantenimiento que proporcione una tasa óptima de rendimiento de dichos equipos.

Requisitos generales para el programa de mantenimiento

- 1) Contar con el equipo de trabajo que se requiera así como con el personal de mantenimiento necesario, el cual debe tener el entrenamiento y los conocimientos adecuados. En el caso de un equipo en particular se llamará al especialista en su reparación (siendo éste casi siempre un representante del fabricante).

- 2) Establecer paros programados para el mantenimiento, así como una comprobación periódica de todos los aparatos eléctricos.
- 3) Mantener existencia de partes de repuesto a un nivel razonable.

Registros del mantenimiento

El funcionamiento del sistema de registros debe ser sencillo de tal forma que el inspector pueda manejarlo con facilidad. El sistema debe contar con cinco registros básicos de referencia:

- a) El registro de equipos en donde se anota la información básica del equipo: fabricante, estilo, serie, tamaño, localización, etc.
- b) El registro de los costos por reparación, el cual es un control progresivo de los mismos, que además incluye los costos de mantenimiento de las diferentes partes del equipo.
- c) Una lista de observaciones de las inspecciones en donde se establezcan las fechas y horarios de las mismas.
- d) Un registro para la programación del mantenimiento. Aquí se indican las obligaciones diarias de los inspectores de mantenimiento y el equipo que tiene que ser revisado.
- e) Un registro con los datos de inspecciones y control tiene que ser llenado a detalle ya que en él se anotan las observaciones y acciones correctivas.

Esto proporciona las condiciones generales del equipo, su seguridad, frecuencia de reparación y la necesidad de una reparación general o reemplazo.

1.1.5. Tipos de mantenimiento

El nivel de servicio que brinda una equipo indica la cantidad de tiempo que el equipo está disponible para el servicio que está programado. El servicio requerido del equipo y el costo resultante determina el tipo de mantenimiento que una compañía adoptará.

Los tipos de mantenimiento más comunes son:

1. *Mantenimiento correctivo.* Se le da mantenimiento al equipo hasta que éste falle. No se aplica el mantenimiento preventivo; los técnicos sólo trabajan en el equipo que no está trabajando correctamente. Esta es la forma más costosa de dar mantenimiento. Generalmente con este tipo de mantenimiento, el nivel de servicio de un equipo está por debajo del nivel aceptable.
2. *Programas de lubricación menor.* Este es un nivel más alto que el mantenimiento correctivo. Aquí el equipo sigue sin ser revisado totalmente hasta que falla, excepto que con el programa de lubricación menor el equipo retrasa un poco más el momento de falla. Desafortunadamente, muchas compañías confunden el programa de lubricación con un programa de mantenimiento preventivo. El nivel de servicio sigue siendo insatisfactorio bajo este programa.
3. *Mantenimiento preventivo.* Es cualquier actividad de mantenimiento planeada que está diseñada para mejorar el servicio del equipo y evitar cualquier actividad de mantenimiento no programada. Algunas de las ventajas del mantenimiento preventivo es que disminuye el tiempo ocioso debido a paros imprevistos y los pagos por tiempo extra de los trabajadores de mantenimiento, existe un menor número de reparaciones por desperfectos disminuyendo también sus costos, elimina los desembolsos prematuros por reemplazo de equipo, también mejora el control de refacciones lo cual conduce a tener un inventario mínimo.

Por lo anterior, el mantenimiento preventivo requiere de pruebas de servicio de partes o del equipo y se conservan estos registros para compararlos con los resultados de futuras inspecciones. Dichos registros deben ser concisos y cortos, pero con toda la información acerca del estado del equipo.

Un buen programa de mantenimiento preventivo deberá incorporar los siguientes tipos de mantenimiento preventivo:

- **Mantenimiento de rutina, lubricación, limpieza e inspecciones.** Es el primer paso en un programa de mantenimiento preventivo. Estas inspecciones pueden revelar cierto grado de deterioro que es posible reparar a través de un sistema normal de órdenes de trabajo programado. El problema que presenta este tipo de mantenimiento es que la mayoría de las compañías creen que esto es suficiente, cuando en realidad es sólo el principio de un programa de mantenimiento preventivo.
- **Reemplazos proactivos.** Son los reemplazos que se hacen a los componentes defectuosos o deteriorados de un equipo, antes de que puedan fallar.

- Reparaciones o restauraciones programadas. Una vez que el componente del equipo ha cumplido su ciclo de vida, el equipo es restaurado o reparado a un nivel en el que puede operar libre de problemas hasta que vuelva a cumplir su siguiente ciclo de vida.
- Mantenimiento predictivo. Es una forma más avanzada de rutinas de inspección. usando la tecnología presente al alcance, las inspecciones pueden detallar la condición en que se encuentra el componente de una pieza de un equipo. Algunas de las tecnologías incluyen análisis de lubricación, análisis espectrográfico de aceite y escaneo infrarrojo.
- Mantenimiento basado en la condición. Este tipo de mantenimiento lleva al mantenimiento predictivo a un paso más adelante por medio de inspecciones en un modo de “tiempo real”. Esto se logra tomando las señales de los sensores instalados en el equipo y alimentando las señales dentro de la computadora la cual, monitorea dicha información, permitiendo que el mantenimiento sea programado cuando sea necesario. Esto elimina posibles errores por parte de los técnicos haciendo las lecturas fuera del campo.

Programas de mantenimiento de “Mejora Continua”

En un nivel más alto que el mantenimiento preventivo se encuentran los tipos de programas de mantenimiento a los cuales se les ha dado la clasificación de *mejora continua* debido a que como su nombre lo dice, buscan continuamente el mejoramiento de sus técnicas y procedimientos para obtener un eficiente y eficaz mantenimiento preventivo.

Dentro de esta categoría existen dos programas que han destacado por sus éxitos en diversas ramas de la industria de la producción: El primero es un programa lógico, disciplinado y con un enfoque de ingeniería llamado mantenimiento centrado en la confiabilidad, mejor conocido como “RCM” (Reliability Centered Maintenance); y el segundo es un programa basado en todo lo concerniente a los empleados y a los principios de calidad total, llamado mantenimiento de productividad total comúnmente conocido como “TPM” (Total Productive Maintenance). Por el tema a tratar en este proyecto, resulta conveniente ahondar un poco más en el programa RCM.

Mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM

Existen muchas técnicas que se aplican al desempeño del mantenimiento. La meta común

de todas ellas es mejorar continuamente la actuación del componente por medio de:

- El manejo de cada tipo de falla de manera más apropiada, en la forma más efectiva en cuanto a costos,
- el mejoramiento de la productividad con un enfoque planeado y más proactivo y
- el contar con un soporte activo y cooperación del personal de mantenimiento, de materiales, operaciones técnico y de funciones administrativas.

Una de las técnicas más notables es el mantenimiento centrado en la confiabilidad “RCM”. Proporcionando un marco de estrategias y aprovechando los conocimientos y experiencia del personal de la organización, con el programa RCM es posible llevar al cabo dos metas importantes:

1. El RCM identifica los requerimientos para el mantenimiento de un bien o componente de interés.
2. El RCM optimiza el desempeño con resultados reales.

El RCM trabaja con base en progresiones de etapas relacionadas. Primero examina las funciones y las metas asociadas de productividad del componente. Después, evalúa aquellas metas que pueden alcanzarse en corto tiempo y los efectos de las fallas. Finalmente, el trabajo de detección de RCM deduce las formas más factibles y efectivas para eliminar o reducir las consecuencias de las fallas.

Para desarrollar el programa de RCM se deben contestar las siguientes preguntas:

- ¿Cuales son las funciones y los modelos ideales de rendimiento del recurso o componente en su actual contexto operativo (funciones)?
- ¿En qué formas no puede cumplir sus funciones (fallas funcionales)?
- ¿Qué ocasiona cada falla funcional (modo de falla)?
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla (efectos de la falla)?
- ¿ En qué forma es importante cada falla (consecuencias de la falla)?
- ¿Qué debe hacerse si una tarea proactiva adecuada no puede ser encontrada (acciones por defecto)?

Estas preguntas están contestadas a través de un proceso lógico de revisión de siete etapas, el cual está ilustrado en la figura 1.1

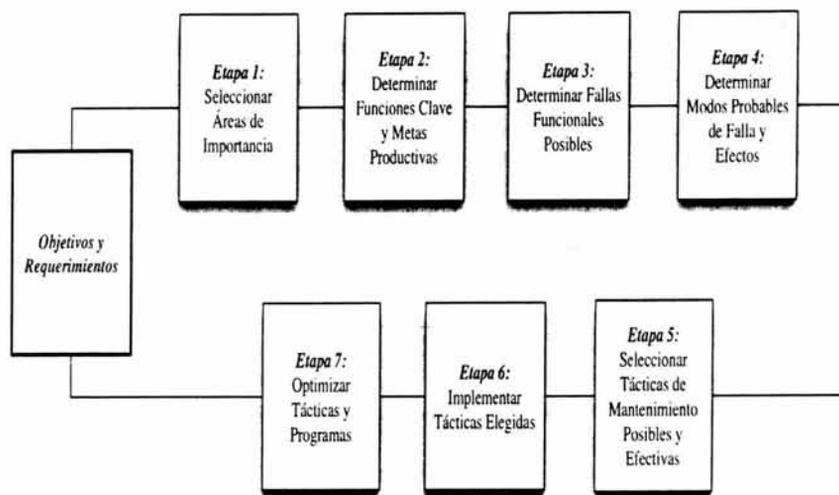


Figura 1.1: Etapas del RCM

Etapa 1: Seleccionar las áreas de importancia. En esta etapa se identifica y se da prioridades a los recursos físicos de la empresa. Esta etapa involucra:

- El establecimiento de una lista estructurada y fácil de entender de todos los recursos (equipos y/o componentes) pertenecientes a la empresa que requieren de alguna forma de atención de mantenimiento o de ingeniería.
- La valoración del impacto del recurso físico en las áreas clave de desempeño del negocio.
- El establecimiento de límites entre los sistemas de equipos. Los límites incluyen todo aquello que sea necesario para que el recurso físico cumpla con su trabajo.

Etapa 2: Determinar funciones claves y metas productivas. Esta es una etapa fundamental, el propósito de las tácticas de mantenimiento es de asegurar que el equipo está trabajando adecuadamente y produciendo dentro de itinerario. Cada componente tiene una o varias funciones, éstas pueden ser clasificadas de la siguiente forma:

- primaria: Esta función es por la cual el equipo existe. Comúnmente es evidente el tipo de función que realiza por el nombre que le dan al componente.
- secundaria: Además de su propósito primario, el componente normalmente tiene un número de funciones secundarias. Estas funciones pueden parecer a veces obvias, pero las consecuencias de falla ya no lo son tanto.
- protección: Así como los procesos y el equipo van incrementando en complejidad, de la misma manera se incrementa la probabilidad de que fallen dramáticamente. Para mitigar estos resultados, se usan equipos de protección. El trabajo de estos equipos deben ser definidos antes de desarrollar los programas de mantenimiento adecuados. Las funciones típicas de protección incluyen avisos de operación anormal, desconexión automática, etc. Además de la definición de función, este proceso resalta el nivel esperado de desempeño o las metas de productividad. Estas pueden incluir capacidad, confiabilidad, disponibilidad, calidad de producto, seguridad y los estándares ambientales.

Etapa 3: En esta etapa se dirige a todos los posibles modos en que los equipos pueden trabajar por debajo de lo esperado. Aquí se consideran las fallas parciales y totales así como las funciones que pasan inadvertidas. Es necesario fijar límites de funcionalidad al equipo para determinar así cuando ocurre una falla³. El nivel esperado de desempeño define no solo lo que una falla es considerada como tal, sino también el grado de mantenimiento necesario para evitar dicha falla.

Etapa 4: Determinar los modos probables de falla y sus efectos. Es necesario contemplar:

- Los modos de falla que han ocurrido en el mismo equipo o similar. esto se determina a través de una revisión del historial de las órdenes de trabajo y a través de la experiencia.
- Los modos de falla que ya están sujetos a tareas de mantenimiento preventivo.
- Otros modos de falla que todavía no se han presentado pero existe la probabilidad de que ocurran. Esto es posible saberlo gracias a la experiencia de los técnicos encargados del mantenimiento o bien por las recomendaciones hechas por parte de los fabricantes.

³Una falla funcional es la incapacidad de un componente o equipo de llegar al nivel esperado de rendimiento.

Etapa 5: Seleccionar las tácticas de mantenimiento posibles y efectivas. Para poder manejar correctamente una falla, la táctica de mantenimiento preventivo deberá ser:

- técnicamente posible y
- de costo-efectivo.

En general, las tácticas para prevenir fallas llevan el siguiente orden:

1. Tácticas de mantenimiento basadas en la condición, “CBM”. Estas tácticas tienen un bajo impacto en la producción, ayudan a enfocar las acciones correctivas y le sacan provecho al máximo a la vida útil del equipo.
2. Tácticas de reparación/restauración basadas en el tiempo, “TBM”. Estas tácticas pueden funcionar para aquellas fallas que presentan un riesgo de tipo ambiental, seguridad o económico para la organización. Sin embargo, estas tácticas no son tan populares como las de “CBM” por varias razones: Generalmente afectan la producción o las operaciones, el límite de vida del componente puede ser reducido prematuramente y por último, el trabajo adicional requerido incrementa el costo por mantenimiento.
3. Tácticas de rechazo. Estas tácticas son elegidas cuando la reparación restauración son imposibles o no son efectivas, como ejemplo: filtros, pequeños circuitos.
4. Tácticas de combinaciones. En algunos casos resulta conveniente usar combinaciones de tácticas con el fin de bajar el nivel de riesgo ambiental o de aumentar el nivel de seguridad en los equipos. Es común que las tácticas CBM y TBM sean las que más se utilizan en combinación.

Una vez elegidas las tácticas de mantenimiento que se utilizarán, lo siguiente será decidir qué tan seguido se aplicarán. Para las tácticas CBM, la frecuencia de uso está ligada a las características técnicas de la falla y de la técnica específica de monitoreo. Para las tácticas TBM son aplicadas de acuerdo a la vida útil del componente.

Etapa 6: Implementar las tácticas elegidas. Las acciones necesarias para darle efecto a las tácticas elegidas son:

- Renovar los calendarios e itinerarios de mantenimiento.
- Revisar y/o desarrollar instrucciones de tareas.

- Especificar partes de repuesto y ajustar los niveles de inventario.
- Adquirir equipo de diagnóstico o de pruebas.
- Revisar procedimientos de operación y mantenimiento.
- Brindar capacitación en los nuevos procedimientos.

Etapas 7: Optimizar tácticas y programas. Una vez que la revisión de RCM es realizada en su totalidad y el trabajo de mantenimiento identificado, es entonces cuando deben hacerse los ajustes periódicos. El proceso responde a los cambios en el diseño de la planta, en las condiciones de operación y en el historial de mantenimiento.

Implementación del programa RCM

La estrategia de mejora continua lleva tiempo⁴, involucra al personal de producción, de materiales, mantenimiento y funciones técnicas en el proceso de revisión del RCM. La implementación del RCM se lleva al cabo en tres fases que son:

Fase 1: Preparación

- Valorar la capacidad de mantenimiento y del medio ambiente.
- Adecuar la capacitación.
- Concientización al personal involucrado.
- Definir los recursos físicos.
- Estimar costos-beneficios.

Fase 2: Demostración

- Dirigir la capacitación de los miembros del equipo involucrado en la implantación del RCM.
- Dirigir aplicaciones "pilotos"⁵.
- Revisar planes y programas de capacitación.
- Desarrollar el plan del programa principal.

⁴La implementación del RCM puede variar desde 1 hasta 3 años dependiendo de la empresa.

⁵Aplicaciones de prueba.

Fase 3: Ejecución

- Transferir la capacitación.
- Institucionalizar las revisiones del RCM.
- Implementar el mejoramiento del sistema.
- Implementar el programa principal.

El programa de RCM si se aplica correctamente, sus beneficios se reflejarán en un mejor servicio y productos. RCM es una muy buena aproximación lógica y estructurada que equilibra los recursos con los requerimientos de equipo confiable.

1.2. Confiabilidad, Disponibilidad y Reemplazo

1.2.1. Teoría de la confiabilidad

Actualmente las industrias en general, requieren de equipos cada vez más “confiables” en cuanto a su funcionamiento, pero al mismo tiempo, que el costo de mantenimiento resulte el mínimo posible. Es por esto que poco a poco la Teoría de Confiabilidad está adquiriendo una gran importancia en la actividad productiva del hombre.

Definición 1.2 *Se conoce a la Teoría de Confiabilidad como el conjunto de teorías y métodos matemáticos y estadísticos, procedimientos organizativos y prácticas operativas que, mediante el estudio de las leyes de ocurrencia de las fallas, están dirigidas a la resolución de los problemas de previsión, estimación y optimización de la probabilidad de supervivencia, duración media de vida y porcentaje de tiempo del buen funcionamiento de un sistema.*⁶

Antecedentes históricos

Con la introducción de la aviación en el campo civil, el problema de la seguridad del funcionamiento durante un cierto período de tiempo, condujo necesariamente a la recolección

⁶Bazovsky Igor, Reliability Theory and practice, Prentice Hall, 1980

y análisis de fallas. En 1930 ya se disponía de los primeros valores numéricos de las tasas de falla de los aviones que son los que permiten el cálculo de la confiabilidad.

Un paso muy significativo en el desarrollo de la confiabilidad se dió en la segunda guerra mundial, cuando en Alemania se trabajó en la realización del misil V1. El equipo de Von Braun no conseguía hacerlo funcionar ya que en cada prueba fallaba alguno de sus componentes. Teniendo una cadena de componentes cuyo buen funcionamiento era esencial para el “correcto funcionamiento” del sistema en conjunto, erróneamente se consideraba que la probabilidad de fracaso del mismo dependía exclusivamente del mal funcionamiento del eslabón más débil. Surge entonces el problema de evaluar la relación entre la confiabilidad de los componentes y la confiabilidad del sistema misil.

Erick Pieruschka (matemático del equipo) dio vida a la fórmula de la confiabilidad de los sistemas en serie a partir de la confiabilidad de los componentes, que permite afirmar que la confiabilidad del sistema es siempre inferior a la de sus componentes individuales. Como resultado de esta afirmación, se proyectaron y construyeron nuevos componentes con los que el V1 alcanzó una confiabilidad del 75 por ciento.

Años más tarde, durante la guerra de Corea, Estados Unidos decide aplicar técnicas de confiabilidad a los sistemas electrónicos debido a que las fallas en los mismos, producían problemas enormes. Esto fue necesario porque los gastos anuales de reparación superaban en mucho el valor del propio aparato. Posteriormente, la teoría de confiabilidad no solo se aplicaría en el campo militar, sino también abarcaría el campo de la aviación comercial y producción industrial.

Justificación de la aplicación de la teoría de confiabilidad

A continuación se mencionan los motivos por los cuales las industrias se han visto obligadas, en cierto sentido, a utilizar las técnicas de la confiabilidad:

- a) Los productos cada vez son más complejos. La probabilidad de falla crece hasta tal punto que es imposible hacer funcionar lo que se ha proyectado con el máximo cuidado.
- b) Necesidad de reducir el peso y volumen de los productos, manteniendo la seguridad de su funcionamiento.
- c) Necesidad de aumentar la duración del funcionamiento de un producto.
- d) Dificultad de mantenimiento. Una mayor duración del funcionamiento equivale a una mayor utilización del producto con las ventajas económicas

correspondientes; pueden aparecer entonces dificultades para mantener las partes menos accesibles de la máquina, las cuales deberán tener en consecuencia mayor confiabilidad. Como caso extremo, se cita la situación particular en la que se encuentra un satélite, el cual tiene que desarrollar actividades muy diversas durante largo tiempo, sin probabilidad alguna de reparación o mantenimiento.

- e) Tendencia a un mayor empleo de los componentes electrónicos.
- f) Necesidad de eliminar el riesgo de pérdida de vidas humanas y, en general, de pérdidas valiosas. Mencionando un ejemplo, un accidente aéreo o bien un paro técnico por fallas mecánicas, lo que ocasiona costos para la compañía.
- g) Las consecuencias económicas por falla de una máquina tienden aumentar. Esto se da porque las máquinas cada vez resultan más caras o bien porque se destinan a mayores volúmenes de producción .
- h) La fama de confiabilidad califica al producto y le permite conquistar el mercado.

Todo estudio o aplicación de la teoría de confiabilidad trae consigo ciertos costos como son:

- Costos de producción. Se originan cuando se aumenta el grado de confiabilidad, debido a que ésto exige un mejoramiento general en las actividades a realizar.
- Costos de mantenimiento. Comprenden los costos inherentes a las fallas, los costos por reemplazo, los costos derivados de la falta de productividad, etc.

Por consiguiente, el costo de confiabilidad es la suma de los dos costos anteriores, la cual tendrá un mínimo que será el valor optimo de confiabilidad.

Nociones fundamentales de la Teoría de Confiabilidad

Se puede sintetizar el concepto de la confiabilidad como la probabilidad de que un elemento funcione sin fallas en un tiempo t determinado, en unas condiciones ambientales dadas.

Al elemento considerado se le puede asignar dos estados en todo instante de su vida: el de un buen funcionamiento y el de un funcionamiento defectuoso; a dicho elemento puede asociársele la probabilidad de hallarse en alguno de estos dos estados.

La definición de confiabilidad presupone:

1. Que sea establecido de forma inequívoca el criterio que determina si el elemento funciona o no funciona. Cuando la definición del estado “no funciona” es inmediata, el criterio es obvio (ejemplo: una soldadura resiste o no resiste). Otras veces el estado de falla se puede definir determinando un límite admisible en las prestaciones del servicio del aparato en cuestión, más allá del cual se hablará de falla. En estos casos pueden identificarse estados intermedios entre el de buen funcionamiento y el de falla.
2. Que sean establecidas exactamente las condiciones ambientales y de utilización; y que se mantengan constantes en el período de tiempo en cuestión.
3. Que sea definido el intervalo de tiempo t durante el cual se requiere que el elemento funcione.

Fijadas las dos primeras condiciones, la confiabilidad de un elemento es función solamente del tiempo, cuya forma depende de la ley probabilista con la que la falla pueda darse en el tiempo.

Para evaluar la confiabilidad de los aparatos, pueden utilizarse tres procedimientos distintos:

1. Utilizar la información procedente del funcionamiento de muchos aparatos iguales durante un largo período de tiempo y en las mismas condiciones de funcionamiento.
2. Utilizar la información procedente del funcionamiento de pocos aparatos durante un corto período de tiempo. Los datos de las pruebas de este tipo dan una estimación del comportamiento con cierto grado de confianza, esto es, con cierta probabilidad de que resulte “verdadero”.
3. Utilizar la confiabilidad conocida de los componentes del aparato para hacer cálculos provisionales de la confiabilidad del conjunto. Este procedimiento es útil cuando, no disponiendo de datos para un procedimiento del tipo (1), se desea una evaluación de la confiabilidad del aparato antes de que se disponga de los resultados de un muestreo.

Sea t la variable aleatoria que representa el tiempo transcurrido entre el instante inicial del período en el que se hace la evaluación de confiabilidad y el instante en el que el elemento falla, entonces $f(t)$ es la función densidad de probabilidad tal que la probabilidad instantánea de que el elemento falle sea $f(t)dt$. La probabilidad se representa por el área sombreada de la figura 1.2

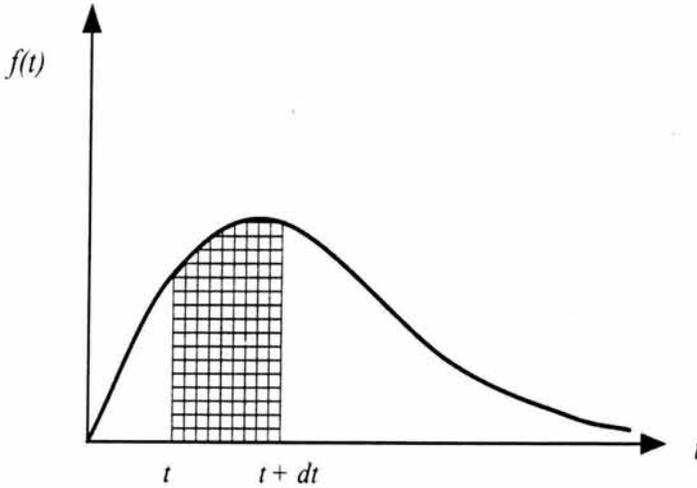


Figura 1.2: Probabilidad de falla

Dado que todo elemento acaba por fallar con el tiempo, el área cubierta por la función $f(t)$ será igual a la unidad, es decir,

$$\int_0^{\infty} f(t)dt = 1$$

La probabilidad de que el elemento falle en el instante t o antes será:

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt \text{ donde, } P_f \leq t$$

y,

$$\begin{aligned}
 F_x(t) &= P(\text{el sistema falle en un tiempo menor o igual a } t \text{ iniciando en un } t = 0) \\
 &= P(x \leq t)
 \end{aligned}$$

La confiabilidad, es decir, probabilidad de que un elemento funcione todavía en el instante t está dado por:

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt = 1 - \int_0^{\infty} f(t)dt = 1 - F(t)$$

Otra función de interés fundamental es la “tasa de falla” denotada por $\lambda(t)$. Esta función representa la probabilidad condicional de que el elemento falle en el tiempo comprendido entre t y $t + dt$, suponiendo que en t esté funcionando todavía. La diferencia entre la función $f(t)$ y $\lambda(t)$ está en que: $f(t)dt$ es la fracción de la población sana en el instante $t + 0$, que falla en el intervalo $t, t + dt$. Mientras que, $\lambda(t)dt$ representa la fracción de una población sana en el instante t , que falla en el intervalo $t, t + dt$.

La función de tasa de falla representa la función de densidad de probabilidad de que un aparato, que ha sobrevivido hasta el momento t , falle en el intervalo dt siguiente. De lo anterior tenemos que

$$\lambda(t)dt = f(t)dt/R(t)$$

y recordando que,

$$f(t) = dF(t)/dt = -dR(t)/dt$$

tenemos

$$dR(t) = -R(t)\lambda(t)dt$$

de donde obtenemos

$$\ln R(t) - \ln R(0) = - \int_0^t \lambda(t)dt,$$

pero como $\ln R(0) = 0$ siendo $R(0) = 1$ (para $t = 0$ la confiabilidad = 1)

Lo cual resulta,

$$R(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(t)dt\right) \quad (1.1)$$

$$f(t) = \lambda(t)R(t) = \lambda(t) \exp\left(-\int_0^t \lambda(t)dt\right) \quad (1.2)$$

Es posible interpretar a la tasa de falla como “número de fallas en la unidad de tiempo”, que es la medida de la “velocidad” o “intensidad” de la aparición de las fallas.

A continuación se presenta gráficamente el comportamiento de la tasa de falla de una población homogénea de componentes a medida que crece su edad t según la gráfica 1.3.

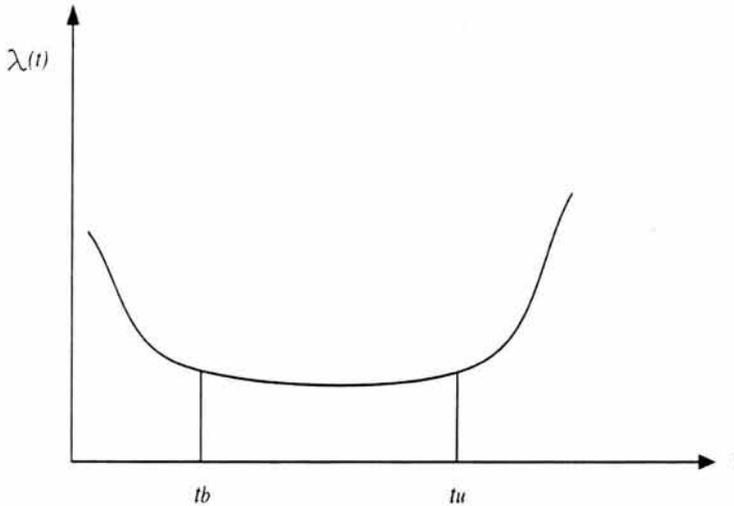


Figura 1.3: Tasa de falla

En el instante $t = 0$ se pone en funcionamiento un gran número de aparatos de cierto tipo, completamente nuevos (si en la población de los componentes se encuentran piezas de estructura más débiles de lo normal, la curva indicará una elevada tasa de falla inicial).

Durante el período inicial, en donde los componentes débiles van eliminándose sucesivamente, la tasa de falla va disminuyendo y se estabiliza en un valor casi constante en el tiempo t_b . Aquí podemos decir que en este momento ya han fallado todos los componentes de “débil constitución”.

Después del período inicial, la población alcanza su valor de λ más bajo, valor que aproximadamente se mantiene durante un cierto período de tiempo llamado de “vida útil”.

Cuando los componentes alcanzan la edad t_v , empieza a detectarse el fenómeno de desgaste y a partir de este momento la tasa de falla crece rápidamente.

El período inicial corresponde a defectos importantes de montaje del material y de fabricación en general. Las fallas que aparecen en el período de vida útil corresponden a las imperfecciones del proceso productivo, que no han seguido fielmente al proyecto. El valor de la tasa de falla en esta fase de una medida de la perfección del método de fabricación empleado. El período con tasa de falla creciente corresponde a la degradación irreversible de las características del producto, propia del diseño del mismo, consecuencia del tiempo de funcionamiento⁷.

Finalmente, defínase ahora un nuevo parámetro: “El tiempo medio hasta que falla” *MTTF* (del inglés: Mean time to failure), que por definición está dado por:

$$MTTF = \int_0^{\infty} tdp = \int_0^{\infty} tf(t)dt = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (1.3)$$

en donde el integrando tdp representa el valor esperado de la variable aleatoria.

En el caso de sistemas reparables se le conoce mejor como “tiempo medio entre fallas” *MTBF* (Mean Time Between Failures). Aquí se toma como origen de tiempos el instante en el que el elemento entra (ó vuelve a entrar) en servicio (una vez terminado el mantenimiento), es decir, excluyendo del cálculo de tiempo el necesario para el mantenimiento preciso para reemprender el funcionamiento.

1.2.2. Confiabilidad de los sistemas

Se ha hablado hasta ahora de la confiabilidad de un elemento sin tomar en cuenta su grado de complejidad. Se trata ahora de establecer la relación entre la confiabilidad de un

⁷Para profundizar más en el tema se recomienda consultar Barlow R. y Proschan F, Statistical Theory of Reliability and Life testing probability models, HRW, p. 53, 1975.

sistema complejo y la de sus componentes individuales, es decir:

$$R_s = f(R_j) \text{ con } j = 1, 2, \dots, n$$

Las R_s representan la confiabilidad del sistema y las R_j representan las componentes individuales. Resulta importante conocer las leyes bajo las cuales la confiabilidad de cada uno de los componentes concurre para formar la confiabilidad de todo el sistema para:

1. Deducir las características de seguridad de funcionamiento de un conjunto, partiendo de los datos históricos de la falla de las partes que lo componen.
2. Dar indicaciones útiles para establecer una política de mantenimiento preventivo a través del conocimiento del efecto producido por la intervención en un determinado elemento sobre las características del sistema en conjunto.
3. Analizar y disponer las acciones correctivas más eficaces.
4. Proyectar los sistemas con características de confiabilidad óptimas mediante la duplicación de algunas funciones (sistemas redundantes).

La confiabilidad de un sistema se puede definir como la probabilidad de recurrencia del acontecimiento "no hay falla", que a su vez, es el resultado de una serie de acontecimientos más simples. Por consiguiente, las reglas generales de confiabilidad son las mismas que las reglas generales de combinación de probabilidad de acontecimientos en general.

Las partes componentes de un sistema pueden comportarse desde el punto de vista de la confiabilidad, de forma independiente o no. Es posible considerar el concepto de independencia o dependencia según los siguientes casos:

- a) El que se produzca la falla de una parte constituye un acontecimiento casual y estadísticamente es independiente (o no) de que se produzca la falla de otra parte, es decir, la falla de una parte no altera la probabilidad de ocurrencia de la falla de otra parte.
- b) La definición del estado límite entre funcionamiento satisfactorio y falla de una parte, es dependiente o no del modo en que funcionan las otras partes del sistema.

El funcionamiento de un sistema desde el punto de vista de la confiabilidad se representa gráficamente mediante esquemas de bloques adecuadamente conectados entre sí, en los que cada bloque representa un sistema o componente. En otras palabras, estos esquemas representan gráficamente la dependencia lógica del acontecimiento “falla del sistema” con el acontecimiento “falla de un determinado componente”, lo que en general no tiene correspondencia con la estructura física y la función desarrollada por los componentes individuales. Para verlo con claridad supóngase una batería de condensadores conectados en paralelo, según la figura 1.4

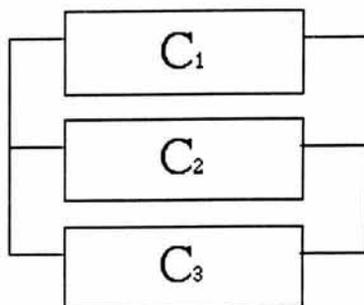


Figura 1.4: Condensadores colocados en paralelo

Las fallas que pueden producirse en una instalación de este tipo pueden ser de dos clases: fallas por circuito abierto y fallas por corto circuito. En el primer caso, el esquema lógico corresponde al de la figura 1.4.

En el segundo caso es evidente que basta con que falle uno solo de los tres condensadores (no importa cuál de ellos) para provocar la falla del sistema. El esquema lógico será entonces del tipo indicado en la figura 1.5.

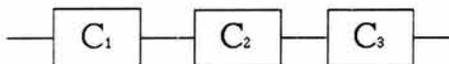


Figura 1.5: Condensadores colocados en serie

Por consiguiente, se puede decir que si un elemento de una instalación se representa en “paralelo” en esquema lógico, su falla no provoca que el sistema entero quede fuera de servicio, todo lo contrario de lo que ocurriría si estuviera representado “en serie”. La comprensión de estos esquemas resulta inmediata si se imagina que la información de “no hay falla” recorre el esquema en un sentido determinado (de izquierda a derecha, por

ejemplo) a partir de un extremo. Si dicha información puede fluir hasta el otro extremo recorriendo por lo menos un camino sin encontrar componentes malos, el sistema no ha fallado. Si esto no es posible, el sistema se encuentra en estado de falla ⁸.

-Sistemas en serie

Son aquellos sistemas en los que la falla de cualquiera de sus elementos, que ha de considerarse como un acontecimiento independiente, determina la falla del sistema completo.

La confiabilidad del sistema corresponde a la probabilidad de que todos sus subsistemas no fallen en un tiempo determinado. Esta probabilidad resulta del producto de las probabilidades de buen funcionamiento de todos los subsistemas en el período de tiempo dado. Si el número de partes que constituyen el sistema es n , se escribe la relación:

$$R_s(t) = R_1(t)R_2(t)R_3(t)\dots R_n(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t)$$

donde $R_s(t)$ y $R_i(t)$ indican la confiabilidad del sistema y del subsistema respectivamente.

Desarrollando la relación se puede escribir:

$$\begin{aligned} R_s(t) &= \exp\left(-\int_0^t \lambda_s(t)dt\right) = \prod_{i=1}^n R_i(t) = \prod_{i=1}^n \exp\left(-\int_0^t \lambda_i(t)dt\right) \\ &= \exp\left(-\int_0^t \sum_{i=1}^n \lambda_i(t)dt\right) \end{aligned}$$

donde $\lambda_s(t)$ y $\lambda_i(t)$ representan respectivamente la tasa de falla del sistema y del subsistema general. De esta relación se deduce que la tasa de falla de un sistema en serie es igual a la suma de las tasas de falla de sus partes componentes:

$$\lambda_s(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t)$$

Ahora bien, si las tasas de falla de los subsistemas fueran constantes también lo sería la del sistema completo, es decir:

⁸Se recomienda para ahondar en este tema: Kaufmann A., Grougko D., Cruon R., Mathematical Model for the study of the Reliability of Systems, Academic Press, pp. 114-159, 1977

$$R_s(t) = \exp(-\lambda_s t) = \exp(-\sum_{i=1}^n \lambda_i t)$$

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

además, para $\lambda_s = \text{constante}$, tendremos:

$$MTBF_i = 1/\lambda_i$$

$$MTBF_s = 1/\lambda_s$$

y como $\lambda_i = \sum_{i=1}^n \lambda_i = \text{constante}$

entonces:

$$MTBF_s = 1/\lambda_s = 1/\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1/(\sum_{i=1}^n 1/MTBF_i)$$

Sistemas redundantes

Son aquellos sistemas en los que algunas funciones están duplicadas o triplicadas (en general multiplicadas) con la finalidad de incrementar la confiabilidad de los mismos.

Si tenemos dos sistemas, uno redundante y el otro no, desempeñando la misma función, la diferencia entre ellos está en que el primero es más complejo y costoso pero su confiabilidad también es mayor. El esquema fundamental de un sistema redundante es el paralelo. Es frecuente encontrar una clasificación de estos sistemas como sigue:

En la primera clasificación los subsistemas o componentes puestos en paralelo funcionan simultáneamente, aunque el sistema funcione también si sólo funciona uno de ellos.

En la segunda clasificación, en un momento determinado funciona uno solo o una parte de los componentes, mientras que los restantes permanecen en reserva en estado de espera (en inglés: stand - by). Por lo tanto, en este caso la conexión funcional varía en el tiempo en función de la aparición de fallas. La variación de la conexión está a cargo de un organo

llamado “órgano de decisión - conmutación” (D.C.) , que cambia a la conexión de un componente a otro y que podría ser, por ejemplo, la intervención de un operador.

-Sistemas complejos

Todo sistema mecánico, eléctrico o electrónico está compuesto por cierto número de componentes elementales más o menos complejos.

Estos componentes, desde el punto de vista del funcionamiento se pueden encontrar en dos estados: en funcionamiento o en falla. Un componente funciona cuando éste desarrolla la misión que le ha sido encomendada dentro del sistema según las características del mismo. En cambio, estará en falla el componente que no funciona o que trabaja de tal forma que perturba el funcionamiento normal del sistema.

Por lo anterior, hemos definido un sistema formado por componentes binarios que pueden hallarse en dos estados: en funcionamiento o en falla. A cada uno de estos dos posibles estados se les puede denotar mediante un número: 0 a la falla, 1 al funcionamiento y utilizar en este campo los principios del álgebra Booleana [Stone73] y [Harrison65].

Ya sea que se tenga un sistema en forma de diseño mecánico, de esquema o de diagrama de flujo, para aplicar el álgebra de Boole será necesario reducir el sistema en cuestión a uno lógico secuencial. Existen varios métodos para lograrlo, como son: gráficas de flujo, el esquema eléctrico equivalente y el de árboles de falla [Barlow75].

Comúnmente se elige el de árboles de falla por ciertas razones:

1. Esta representación es la más inmediata desde el punto de vista lógico y formal, por lo que resulta relativamente más fácil de hacer y de interpretar.
2. La representación en árboles de falla es más fácil de introducir a algoritmos matemáticos y de implementar en la computadora.
3. Es posible intervenir y modificar el árbol de falla con cierta facilidad, reduciendo con ello la posibilidad de error.

El método de gráficas de flujo por su parte, describe el funcionamiento de una instalación mediante flechas, cuya secuencia indica los posibles modos de comportamiento del sistema. Esta forma de representación suele resultar bastante caótica y poco intuitiva para instalaciones mal realizadas.

El método del esquema “eléctrico equivalente”, simula mediante interruptores de dos

posiciones el estado de cada componente. Conectando entre sí todos los interruptores, esto es, los componentes de la instalación en la forma en que están dispuestos en la misma se obtiene entonces el esquema lógico. Este procedimiento, aún siendo mejor que el anterior, resulta muy complicado a quien tenga que examinarlo en instalaciones de complejidad media.

1.2.3. Teoría de disponibilidad de componentes y sistemas

En la industria aeronáutica así como en las instalaciones industriales donde los aparatos cumplen con varios ciclos de reparación durante su vida, además de la confiabilidad es importante tomar en cuenta a la disponibilidad de componentes como herramienta principal para un mantenimiento eficiente.

La disponibilidad está relacionada directamente con la posibilidad de ser utilizada la instalación o los aparatos, desde un punto de vista técnico, es decir, excluyendo las causas de paro por razones administrativas o de política empresarial. El concepto de disponibilidad puede ser interpretado de dos formas: la primera como un porcentaje de tiempo de buen funcionamiento del sistema productivo, calculada sobre un período de tiempo largo; y la segunda como la probabilidad de que en un instante cualquiera el sistema reparable esté en funcionamiento (dicha probabilidad es por lo general función del tiempo transcurrido a partir del momento en que el sistema es “nuevo”).

Nociones fundamentales

Definición 1.3 *Se entiende por disponibilidad a la relación entre la frecuencia de fallas y el tiempo necesario para la reparación de componentes y/o sistemas.*⁹

La definición puede ser reescrita en términos de la ecuación siguiente

$$A = UT / (UT + DT)$$

donde:

- A es la disponibilidad;

⁹A. Baldin, L. Furlanetto, Manual de instalaciones industriales, Editorial G. Gilli, Barcelona 1982.

- UT es el tiempo en el que el sistema está disponible para el funcionamiento, esto es, puede ponerse en servicio independientemente del hecho de que se decida hacerlo funcionar o no ($UT = Up - time$);
- DT es el tiempo fuera de servicio debido a causas técnicas ($DT = Down - time$).

El tiempo fuera de servicio de una instalación debido a fallas, es el resultado de numerosos factores concurrentes. Una clasificación muy general de los tiempos de mantenimiento puede ser como sigue:

- Tiempo consumido en el diagnóstico de la falla,
- tiempo consumido en la reparación de la falla,
- tiempo consumido en el control de la reparación.

En una forma más analítica se puede llegar a subdividir el tiempo total de mantenimiento de la forma siguiente:

1. Tiempo de reparación,
2. tiempo de localización,
3. tiempo de desmontaje,
4. tiempo de obtención de las herramientas y materiales necesarios,
5. tiempo de reparación, propiamente dicho,
6. tiempo de ajuste y calibración,
7. tiempo de montaje,
8. tiempo de comprobación del buen funcionamiento del componente reparado,
9. tiempo de limpieza y recogida.

Por otra parte, el tiempo total de la reparación está condicionado principalmente por tres factores que son:

- a) Factores propios del diseño . Dentro de los cuales destacan la complejidad de la máquina, la configuración, el peso, el diseño, el tamaño, la visibilidad, la facilidad de montaje y desmontaje de los componentes, etc.

- b) Factores de naturaleza organizativa. En donde se toma en cuenta el adiestramiento y dirección de la mano de obra, la disponibilidad de los equipos operarios, la eficiencia del almacén de partes de repuesto, el grado de descentralización del servicio de mantenimiento, la disponibilidad de los manuales de la máquina, planos. etc.
- c) Factores operativos. Aquí se incluyen la habilidad de la mano de obra, las herramientas de que se dispone, los procedimientos de preparación de trabajo o de intervención de emergencia.

Los tres factores anteriores se refieren al caso en el que la intervención es realizada debido a la aparición de la falla. Pero en el caso más general, el tiempo total fuera de servicio de una instalación industrial durante cierto período, es el resultado de la suma del tiempo debido a las intervenciones de mantenimiento preventivo o periódico y del tiempo debido a las operaciones de mantenimiento correctivo. Es decir,

$$UT = (MTTR_p)(N_p) + (MTTR_g)(N_g)$$

donde:

- N_g es el número de operaciones de mantenimiento correctivo en el período analizado.
- N_p es el número de operaciones de mantenimiento preventivo en el mismo período.
- $MTTR_g$ es el tiempo medio de reparación correctiva.
- $MTTR_p$ es el tiempo medio por operación de mantenimiento preventivo.

1.2.4. Teoría de reemplazo preventivo

Una forma de reducir los costos de producción y de incrementar el índice de confiabilidad en los equipos es a través del reemplazo preventivo.

Definición 1.4 *Se entiende por reemplazo preventivo a la substitución de un componente, que ha funcionado en un tiempo determinado, por otro nuevo, a pesar de que el primero todavía esté funcionando perfectamente.*¹⁰

¹⁰Baldin A. y Furlanetto L., Manual de mantenimiento de instalaciones industriales, Editorial G. Gilli, Barcelona 1982.

El reemplazo preventivo no es siempre conveniente; se deben determinar los casos y la forma en los que éste puede ser aplicado sin olvidar también los parámetros que califiquen la política de reemplazo preventivo. Para reemplazar todo equipo se deben satisfacer las siguientes condiciones:

- a) Que la aplicación del nuevo componente produzca menos costos anuales de mantenimiento.
- b) Que el componente contenga partes automatizadas que reduzcan el costo por unidad de producción.
- c) Que la tasa de falla del componente a reemplazar sea creciente.
- d) Que el costo total de la intervención (costo del paro del equipo, más el costo del componente de reemplazo, más el costo de la mano de obra) de emergencia debe ser superior al costo total de la intervención preventiva.

Una vez satisfechas las condiciones anteriores, se determina la política del reemplazo preventivo a seguir.

Políticas de reemplazo en el caso de un sólo componente

A continuación se estudiarán dos políticas de reemplazo; la primera a edad constante y la segunda a fecha constante. Ambas políticas deben seguir las siguientes hipótesis:

1. El componente puede tener sólo dos estados: que funciona o que falle.
2. En todo momento se conoce el estado del componente.
3. El componente se supone completamente nuevo, después de la intervención del mantenimiento.

-Política 1: Reemplazo a edad constante

Esta política sugiere que el componente se reemplace cuando falle o cuando alcance una cierta edad T predeterminada por el fabricante. A esta edad T que representa el valor de la variable aleatoria, se le conoce como edad de reemplazo preventivo. La duración media del componente está definida por la ecuación:

$$\mu(T) = \int_0^T t f(t) dt + T \int_T^{\infty} f(t) dt$$

donde:

- $f(t)$ es la función densidad de probabilidad de falla,
- T es la edad de reemplazo preventivo.

considerando ahora que:

- C_E es el costo total de la intervención de emergencia,
- C_P es el costo total de la intervención preventiva.

Entonces, se calcula el valor esperado del costo de la intervención por la unidad de tiempo y se determina el valor óptimo de T que corresponderá al mínimo de dicho costo. Tendremos,

$$C(T) = [C_E F(T) + C_P R(T)] + \mu(T)$$

donde:

- $C(T)$ es el costo de la intervención por unidad de tiempo,
- $F(T)$ es la función de probabilidad acumulada de fallas,
- $R(T)$ es la función de confiabilidad.

Derivando la expresión anterior con respecto a T e igualándola a cero se obtiene:

$$\mu(T) \int_0^T R(t) dt + R(T) = C_E / (C_E - C_P)$$

donde $\mu(T)$ es la tasa de falla a partir de la cual, despejando T es fácil hallar el valor óptimo de T .

-Política 2: Reemplazo a fecha constante

Esta política consiste en el reemplazo sistemático del componente en sí, una vez que se establece una fecha constante para el reemplazo del componente, éste se reemplazará independientemente de que se presente o no la falla. Para calcular los parámetros

característicos de esta política será necesario determinar el número medio de renovaciones que se espera tener que efectuar por fallas, entre una fecha de reemplazo preventivo y la siguiente.

Dicho promedio de renovaciones se puede obtener de la función $H(T)$, llamada función de renovación. Fijado un tiempo t y definida la variable N_t como el número de renovaciones que tienen lugar en el intervalo $(0, t)$ se llama función de renovación al número medio de N_t .

$$H(t) = F(N_t)$$

El costo medio de esta política por unidad de tiempo está expresado como:

$$C(T) = [C_P + C_E H(T)]/T$$

El valor de T , que es el intervalo constante que determinará los momentos en que se efectuarán las intervenciones de reemplazo preventivo se obtiene buscando el mínimo de dicha función.

Políticas de reemplazo en caso de más componentes

Para encontrar políticas óptimas de mantenimiento preventivo en instalaciones complejas se tienen dos opciones principalmente:

- a) La primera consiste en formular “a priori” un programa de intervenciones utilizando todo el material de información disponible en el momento en que se instala la instalación entre servicio, o bien, en el momento de la reorganización del servicio de mantenimiento. Esta política se caracteriza por la asociación de un mantenimiento preventivo periódico basado en la edad del componente y de un reemplazo oportuno en el caso de que se pare la instalación. Generalmente se le conoce a esta primera política como “estática” en el sentido en que no está previsto el recálculo del intervalo de mantenimiento preventivo en el momento de la reactivación después de la renovación de una parte de la misma.
- b) La segunda opción utiliza toda la información que describe el estado efectivo del sistema en el momento de reemprender la producción, como

son por ejemplo los tipos de intervenciones efectuadas, los componentes substituidos o renovados, el estado de los componentes no reemplazados y cualquier otro hecho ocurrido y que sea importante desde el punto de vista de la confiabilidad. Se llama "dinámica" a esta segunda política porque los parámetros de decisión (intervalo de reemplazo preventivo) no se fijan "a priori" sino que se recalculan cada vez que se produce un acontecimiento que provoca la renovación de alguna parte de la instalación.

Cabe hacer notar que ambas opciones son modelos subóptimos debido a que no es posible dar modelos de políticas de mantenimiento rigurosamente óptimos, dada la complejidad de la realidad práctica industrial y el desarrollo imprevisible de los acontecimientos.

1.3. El mantenimiento de la Unidad de Velocidad Constante

Las aeronaves, como todos los demás medios de transporte, requieren de un mantenimiento constante que sea tan confiable como sea posible. Los fabricantes de las aeronaves establecen dentro de los manuales de mantenimiento programas específicos para cada componente del avión en cuestión con el fin de ofrecer un buen funcionamiento.

Este trabajo en particular centra su atención en el mantenimiento de la Unidad de Velocidad Constante (UVC) de las aeronaves DC-9 de una aerolínea comercial nacional porque, aunque no es una pieza vital que comprometa la seguridad de los pasajeros en vuelo, sí lo es en términos de altos costos de mantenimiento. Esto último fue lo que motivó el interés de abordar en forma particular el mantenimiento de este componente.

El tipo de mantenimiento que se le ha estado dando a la UVC hasta ahora es correctivo, es decir, que en el momento en que presenta una falla se remueve para su valoración y se le manda a reparación. Este tipo de mantenimiento está resultando muy costoso debido a que las reparaciones parciales y totales son realizadas en el extranjero únicamente (Sundstrand Co.) ya que la empresa nacional no cuenta con la tecnología necesaria para reparar una pieza tan compleja como la UVC. Sólo revisiones y muy pequeñas reparaciones son hechas en México.

1.3.1. Descripción de la UVC

Cada generador del avión, está conectado al motor por medio de una transmisión¹¹ llamada Unidad de Velocidad Constante (UVC). Su estructura es sumamente compleja debido a que requiere de sistemas mecánicos, eléctricos e hidráulicos para su operación. La función que realiza es la de convertir la velocidad variable del motor en velocidad constante para mantener una frecuencia constante de salida (600rpm) de los generadores. El DC-9 cuenta con dos UVC's (una por motor) y una más llamada APU¹² (unidad auxiliar de poder) localizada en el generador de emergencia.



Figura 1.6: Unidad de velocidad constante en el equipo DC-9

¹¹De tipo diferencial.

¹²Del inglés Auxiliar Power Unit.

1.3.2. Especificaciones y criterios de mantenimiento

El fabricante sugiere que las UVC al cumplir sus primeras 12,000 horas de vuelo se les realice una reparación total (overhaul). La empresa en particular se basa en el siguiente criterio para decidir el tipo de reparación que se le ha de aplicar a la UVC en caso de falla: Si la UVC reporta una falla del 20 por ciento, se le aplica una revisión nacional; si la UVC falla a un 50 por ciento entonces se le manda a reparación parcial y si la UVC está presentando fallas a un 80 por ciento se le manda a reparación total.

Con base en la experiencia del departamento de mantenimiento de la empresa que planteó el problema, las fallas más comunes que se presentan en el funcionamiento de la UVC son:

1. Alta temperatura en el aceite,
2. ruptura de flechas,
3. cuando el generador no entra en paralelo.

1.3.3. La planeación como método de análisis para el problema de mantenimiento de la UVC.

La planeación, según Stephen Robins¹³ implica las tareas de definir los objetivos o metas de la organización, establecer una estrategia general para alcanzar esas metas y desarrollar una jerarquía completa de planes para integrar y coordinar las actividades.

La planeación ofrece una dirección, reduce el impacto del cambio, minimiza el desperdicio y la redundancia y establece los estándares que se usarán para el control.

Por lo anterior, es que se ha elegido como metodología de análisis a la planeación para abordar el problema de mantenimiento de la UVC.

El tipo de planes que se realizan en el mantenimiento son:

- Por su amplitud: *Operacional*, porque especifican los detalles de cómo deberán lograrse los objetivos generales.
- Por su marco temporal: *A corto plazo*, porque abarcan un período de máximo un año.

¹³Robins Stephen, Administración: Teoría y práctica, Edit. Prentice Hall, p. 212, 1ra edición 1987.

- Por su grado de especificidad: *Específicos*, porque tienen objetivos claramente definidos.
- Por su frecuencia de uso: *Permanentes*, porque proporcionan una guía para las actividades que se realizan en forma repetitiva en la organización.

El problema de mantenimiento de la UVC está definido dentro de los siguientes parámetros:

- Tipo de problema: Técnico-administrativo. Se presenta un bajo rendimiento de la UVC así como una falta de control en el seguimiento de la unidad.
- Entorno: El problema se presenta en una empresa privada en el ámbito técnico-administrativo.

En el siguiente capítulo se aborda el problema bajo un enfoque de planeación mixto: normativo e interactivo según Russell Ackoff¹⁴. Normativo, porque tiene orientación sistemática y fuertemente dirigido a un futuro deseado. Se definen las políticas, espacios, estrategias y tácticas procurando alcanzar dicho futuro deseado. Enfoque interactivo, debido a que en este tipo de planeación no se desea retornar a un estado previo ni prolongar la situación actual, pero tampoco desea acelerar la llegada del futuro. Se centra en lo único que puede controlarse hasta cierto punto, es el futuro que puede ser influenciado. Por sus acciones actuales, sus principios son la participación y la continuidad Tomás Miklos⁸. Las etapas que se siguen en este tipo de planeación son:

1. Formulación de la problemática.
2. Planeación de los fines.
3. Planeación de los medios.
4. Planeación de los recursos.
5. Diseño de la implantación y el sistema de control.

¹⁴Ackoff Russell, Planificación de la empresa del futuro, Editorial Limusa, México, 2003

⁸Miklos Tomás, Teoría Política, Editorial FCE, 2000.

1.4. Conclusiones

Los rápidos avances tecnológicos en la Aeronáutica y sus cada vez más complejos sistemas de control que maneja han dado por resultado un cambio en el concepto de mantenimiento. Todavía en la década de los 50's del siglo pasado, el mantenimiento era entendido como simples intervenciones periódicas, mismas que resultaron insipientes puesto que no nada más siguieron habiendo accidentes de consecuencias fatales, sino que se incrementaron. Fue entonces cuando el mantenimiento tomó gran importancia para la industria aeronáutica. La acumulación de 20 años de investigación y experimentación con la aviación comercial en Estados Unidos dieron como resultado un replanteamiento del enfoque del mantenimiento de sus equipos con base en la confiabilidad de los mismos. (véase apartado 1.1)

El concepto de confiabilidad, como se menciona en el apartado 1.2, es entendido como la probabilidad de que un elemento funciones sin fallas en un tiempo t determinado, en unas condiciones ambientales dadas. Dentro de la teoría de confiabilidad una de las principales funciones que se utiliza está la llamada función de tasa de falla, la cual se interpreta como el número de fallas de un elemento en la unidad de tiempo; mientras que de los parámetros, el más comúnmente utilizado para el análisis de fallas se encuentra el llamado tiempo medio entre fallas.

Para la teoría de la disponibilidad de componentes o sistemas, como se cita en el apartado 1.2.2, el concepto de "disponibilidad" puede ser interpretado de dos sentidos: el primero como un porcentaje de tiempo de buen funcionamiento del componente o sistema, calculado sobre un período de tiempo largo; y el segundo como la probabilidad de que en un instante cualquiera el sistema o componente reparable esté en funcionamiento.

Con respecto a la teoría de reemplazo preventivo (apartado 1.2.4) es conveniente que se efectúe previamente un análisis de fallas y en seguida verificar si se satisfacen las cuatro condiciones básicas que están establecidas en el apartado 1.2.4. Si el componente en estudio cumple con lo anterior, la teoría de reemplazo preventivo se torna una herramienta muy útil para la función del mantenimiento.

La confiabilidad se asocia con la teoría de la disponibilidad de componentes o sistemas y con la teoría de reemplazo para formar juntas la base matemática en la que se sustenta, ahunada a técnicas administrativas, un nivel más elevado que el mantenimiento preventivo: El programa de mejora continua RCM (véase apartado 1.1.5)

Sin embargo, para algunas empresas sigue siendo un problema el mantenimiento de sus equipos debido a dos factores principalmente:

1. La falta de políticas adecuadas y de una correcta adecuación de una metodología matemática que permitan establecer nuevos procedimientos y evaluarlos cuantitativamente.
2. La subutilización de sistemas de control para el mantenimiento.

Esto trae como resultado un incremento del 75 por ciento o más en los costos por mantenimiento, disminución en la confiabilidad de los equipos y/o componentes, y atrasos desde el punto de vista operativo y administrativo.

En el caso particular de la UVC, según el apartado 1.3, el bajo rendimiento de ésta en comparación con los parámetros establecidos por el fabricante lleva a pensar en posibles fallas relacionadas con su mantenimiento.

Referencias

- [1.1] Baldin A., Furlanetto L., Roversi A., Turco A.. *Manual de mantenimiento de instalaciones industriales* Editorial Gustavo Gilli Barcelona 1982
- [1.2] Morrow L. C. *Manual de mantenimiento industrial* tomo 1 Editorial C.E.C.S.A novena impresión México, 1984
- [1.3] Bazovsky Igor. *Reliability Theory and Practice* Prentice Hall Space Technoloy series, 1961
- [1.4] Barlow, R.E. y Prochan,F. *Statistical Theory of Reliability and Life Testing* Holt, Reinhart and Winston, 1974
- [1.5] Arsenault J.E, Roberts J.A *Reliability and maintainbility of electronical systems* Computer Science Press, 1980
- [1.6] Campbell John *Uptime Strategies for Excellence in Maintenance Management* Productivity Press inc., 1997
- [1.7] Wireman Terry *World Class Maintenance Management* Industrial Press, 1990
- [1.8] Wireman Terry *Developing Performance Indicators for Managing Maintenance* Industrial Press, 1998
- [1.9] Page B. Stephen *Establishing a System of Policies and Procedures* Process Improvement Publishing, fifth edition, 2002
- [1.10] Mc. D. Douglas Company *Manual de mantenimiento del DC-9*, Referencia Mc Donnell- Douglas.
- [1.11] Moubray J. y Pérez J. C. *Otras versiones del RCM* www.soporteycia.com.co pp. 1-13

Capítulo 2

Planteamiento del problema y definición de políticas de mantenimiento

Objetivo

La finalidad del presente capítulo es plantear el problema de la UVC y definir políticas que apoyen a una mejor administración de mantenimiento por medio de la exploración y análisis de los datos obtenidos por el departamento de planeación y control de la compañía "X", a través de la creación de una base de datos.

2.1. Planteamiento del problema de mantenimiento de la UVC

2.1.1. Formulación del problema

La compañía aérea "X" en la cual se fundamenta este trabajo, actualmente cuenta con 32 aviones del tipo DC-9 en donde cada uno tiene tres UVC: dos en los motores y una en la unidad de poder auxiliar. El tipo de mantenimiento que se le ha estado dando a la UVC es correctivo, es decir, en cuanto se presenta una falla entonces se le repara. De unos años a la fecha, se han venido detectando ciertos problemas en el mantenimiento y funcionamiento de esta unidad:

1. El tiempo exagerado que la unidad está fuera de servicio cuando se manda a reparar al extranjero.
2. El bajo rendimiento de la UVC en comparación con lo establecido por el fabricante.
3. El continuo desmontaje de la unidad para su revisión.
4. Fallas en otros componentes (ej: el generador) a consecuencia del mal funcionamiento de la unidad.
5. Falta de control administrativo del mantenimiento de la UVC.

Para dicha compañía cada uno de estos problemas representan un incremento significativo en sus costos¹⁵; lo que motivó el planteamiento de un problema importante dentro del *Depto. de Planeación y Control*, quien se dio a la tarea de rastrear las unidades con el objeto de proporcionar datos que sirvan para llevar al cabo la construcción de una base de datos que permita la exploración y el análisis de los mismos, con el propósito de definir políticas que permitan mejorar el funcionamiento de la UVC y por supuesto la reducción de dichos costos.

2.1.2. Definición de objetivos y metas

Los objetivos que se desean alcanzar en el mantenimiento de la UVC son:

- Optimizar su vida útil (maximizar su rendimiento y minimizar costos).
- Identificar e implementar reducción de costos
- Proporcionar registros de mantenimiento actualizados.
- Reunir la información necesaria de costos por mantenimiento.
- Optimizar los recursos de mantenimiento.
- Optimizar el sistema de inventario.

Las metas que se pretenden cumplir son:

- Incrementar el rendimiento de la UVC.
- Disminuir las reparaciones parciales y/o totales.

¹⁵No se obtuvo por parte de la empresa, el porcentaje de dicho incremento.

- Disminuir el número de remociones.
- Mejorar el seguimiento de las UVC a través de las formas de registro individual.
- Disminuir costos por reparaciones y revisiones.

2.2. Estrategia de solución

La estrategia que se sigue para lograr dichas metas consta de cuatro pasos que son:

- Recolección de la información.
- Análisis de la información.
- Exploración estadística de los datos.
- Análisis por grupos: procedencia y variables.

2.2.1. Recolección de la información

El problema inicia a través de entrevistas con ingenieros de mantenimiento y el planteamiento por parte de la dirección de planeación y control de la compañía. En esta etapa se extraen la información (principalmente en registros de datos), obteniendo los primeros resultados importantes, a través de tres aspectos importantes : el análisis de la información, la exploración estadística de los datos y un modelo preliminar de datos.

La metodología de recolección de la información tiene como etapa inicial la revisión individual de cien unidades por medio de hojas de registro, según se muestra en la 2.1

De la forma de registro 2.1 se pueden observar primeras ciertas entidades, las cuales contienen cierto número de atributos que contendrá un conjunto de datos. En seguida, se muestran alguna en formas de requerimientos de datos, los nombres y su descripción de significados.

Entidad: UVC	
Atributo	Descripción
Nom. de la unidad	Es el nombre de la pieza, como atributo principal de estudio de mantenimiento, en este caso es UVC.
Fabricante	Es el nombre de la compañía quien fabricó la pieza.
No. parte	Es el número de parte del avión que le corresponde a la UVC en forma general.
No. Serie	Es el número particular de cada una de las UVC, dado por el fabricante.

Forma: Entidad de la UVC

Entidad: Reparación	
Atributo	Descripción
Periodo o límite de reparación	Es el límite de tiempo máximo de operación de la UVC, establecido por el fabricante (12 000 hrs.), para ser removida del avión y ser llevada a reparación total (overhaul).
Fecha de instalación	Es la fecha en la que se instaló la UVC en el avión.
T.T. Avión	Es el tiempo total de vuelo que lleva el avión en el que se le instala la UVC.
Matrícula	Es la matrícula del avión en donde se instala la UVC.
Posición	Indica en que motor se instaló la UVC: izquierdo =1, derecho=2.

Forma: Entidad de reparación

Entidad: Remoción	
Atributo	Descripción
Fecha de remoción	Es la fecha en la cual la UVC fue removida.
T.T. avión	Es el tiempo total de vuelo del avión hasta la fecha en la cual se removió la UVC.
Tiempo en avión	Es el tiempo en el que la UVC estuvo en operación en el avión.
Tiempo desde la reparación	Es el tiempo que se considera a partir de la última reparación que se le hizo a la UVC.
Tiempo total	Es el tiempo que la UVC estuvo en operación desde su primera instalación, hasta la última remoción.

Forma: Entidad de remoción

Entidad: Observaciones	
Atributo	Descripción
Revisión nacional	Esta se realiza cuando el piloto reporta alguna falla en la UVC.
Reparación parcial (R/P)	Si después de la revisión la UVC presenta un estado de deterioro de un 50 por ciento ¹⁶ , esta se manda al extranjero para su reparación.
Reparación total (O/H)	Si después de la revisión, la UVC presenta un estado de deterioro de un 80 por ciento ¹⁷ , o si la unidad llegó a su límite de reparación (12000 hrs.), entonces se manda a una reparación mayor al extranjero.

Forma: Entidad observaciones

2.2.2. Análisis de la información

La información que puede tener una empresa, tal cual, no es importante si no se ordena, clasifica y analiza; con el objetivo de obtener una estructura que sea útil y, a la vez, fácil de manejar. Para cualquier estudio, los datos son el ingrediente básico, por consiguiente, además del manejo cualitativo de la información, es necesario una decodificación en datos, con el fin de tener las mediciones y llevar al cabo inferencias estadísticas de los mismos. En la actualidad, para el caso de mantenimiento, un objetivo primordial es establecer un modelo de base de datos para que sea automatizada adecuadamente ¹⁸ y cumplir con una administración eficiente.

En este caso, para el estudio, de la base de 100 formas de registro de las UVC, que tiene la Compañía "X", se optó por la elección una muestra aleatoria simple de 25. Se construyó una estructura para Excel, procediendo a una primera fase de análisis en la cual se describen variables y significados de la base de datos (ver cuadro 2.1).

¹⁸Wireman T., World Class Maintenance Management, Industrial Press Inc., pp. 129, New York 1990.

<i>variable</i>	<i>significado</i>
no.serie	Se refiere al número de serie de cada UVC.
T.T vida	Es el tiempo total de servicio de la UVC, desde su primera instalación hasta su última remoción.
T.P en nave	Es el tiempo promedio que la UVC ha estado en operación en un avión. Resultado de dividir el T.T vida, entre el número de remociones .
No. remociones	Es el número de veces que se ha tenido que desmontar la UVC del motor.
No. r/p usa	Es el número de reparaciones parciales, hechas en Estados Unidos.
No. rev/mex	Es el número de revisiones hechas en México.
No. hrs/h revm	Es el número de horas-hombre que se necesitaron para realizar las revisiones mexicanas.
No. OH	Es el número de reparaciones totales (overhaul), hechas en el extranjero (Estados Unidos).
Costo r/p USA	Es el costo por reparación parcial en el extranjero.
Costo OH	Es el costo por reparación total en el extranjero.
Costo rev mx	Es el costo por revisión mexicana.
Costo rp y OH	Es la suma de los costos por reparación parcial y total.
Costo us mx	Es la suma de los costos de las reparaciones hechas en el extranjero y las revisiones mexicanas.
TP fue ser OH	Es el tiempo que la unidad estuvo fuera de servicio, desde que se removió para una reparación total hasta que se instaló de nuevo.
T fue ser r/p rev	Es el tiempo que la UVC estuvo fuera de servicio a causa de reparaciones parciales y/o revisiones mexicanas.
TT fue ser	Es la suma de todos los tiempos que la UVC estuvo fuera de servicio por: revisión, reparación total y parcial.
TP fue ser	Es el resultado de la división del tiempo total fuera de servicio, entre el número de ciclos de remoción y próxima instalación.

Cuadro 2.1 Variables con su descripción de significado

Resultados preliminares de análisis

1.- Clasificación de UVC. La base de datos cuenta con 26 registros, de los cuales, a partir del segundo y hasta el vigésimo, corresponden a las UVC que llegaron en aviones rentados, que ya cuentan con horas de vuelo. Mientras que: del vigésimo primero al vigésimo sexto, corresponden a las UVC que llegaron instaladas en aviones nuevos, comprados directamente de la fábrica.

2.- Tiempos y costos.

Todos los tiempos están dados en horas y los costos están calculados en dólares, con base en los siguientes datos recabados en el departamento de Planeación y Control:

- Cada vez que la UVC llega a una reparación total se le considera un ciclo de vida.
- Costo de la UVC: 130 000 dólares.
- Costo por revisión mexicana (1hr/hombre): 3.50 dólares.
- Número de horas aproximadas por revisión: 14 horas.
- Costo por reparación parcial : 10 500 dólares.
- Costo por reparación total: 19 500 dólares.

3.- Dependencia funcional de las variables.

A continuación se describen las dependencias funcionales de variables (o atributos), encontradas a través del análisis de los datos:

$$\begin{aligned} T.P.enave &\leftarrow (T.T.vida, No.remociones) \\ No.remociones &\leftarrow (No.r/pUSA, No.rev/mex, No.OH) \\ No.hrs/hrevm &\leftarrow (No.rev/mex * 14) \\ costor/pUSA &\leftarrow (No.r/pUSA * 10500) \\ costoOH &\leftarrow (No.OH * 19500) \\ costorevmex &\leftarrow (No.hrs/hrevm * 3,5) \\ cosr/pyOH &\leftarrow (costor/pUSA, costoOH) \\ costousmex &\leftarrow (costor/pUSAyOH, costorevmex) \\ TfueserOH &\leftarrow (TTfueserv, TfueserOH) \\ TPfueser &\leftarrow (TTfueserv, (No.remociones - 1)) \end{aligned}$$

4.- Variables controlables.

- Tiempo total de vida.
- Tiempo promedio en el avión.
- No. de remociones.
- No. de reparaciones parciales.
- No. de reparaciones totales.
- No. horas/hombre por revisión mexicana.
- Costo por reparación parcial.
- Costo por reparación total.
- Costo por revisión mexicana.
- Costo por unidad nueva.
- Tecnología de la información.
- Capacitación técnica-administrativa.
- Presupuesto.
- Nivel de mantenimiento.

5.- Variables no controlables.

- Tiempo que la unidad permanece en el almacén
- Tiempo esperado de vida de la unidad
- Tiempo por reparación parcial
- Tiempo por reparación total
- No. de órdenes de trabajo
- Tiempo medio entre fallas
- Frecuencia de tipo de fallas
- Fecha de revisión y/o reparación
- Costo por inventario
- No. de unidades en almacén
- Personal involucrado en el registro individual de unidades

Resultados generales del análisis.

Una vez proporcionada la información en las formas de registro, la información se analizó bajo los siguientes conceptos:

1. Clasificación de las UVC en nuevas y usadas.
2. Revisión de los registros de forma individual.
3. Revisión de los registros por grupos.
4. Interpretación de la información.

Del análisis de la información, hecho desde los aspectos anteriores se tienen los siguientes resultados esenciales.

1. No hay uniformidad de criterio para apuntar los datos.-

En la columna de OBSERVACIONES, existen distintas maneras en las que reportan las órdenes de reparación, algunas aparecen con la información detallada, como por ejemplo: El tipo de falla reportada por el piloto, el número de orden de reparación, el tipo de ésta y la fecha en la que se hizo la orden. En cambio, se encontraron varias formas en las que sólo se reporta la fecha, el número de orden de reparación y el tipo de reparación.

2. Omisión de datos.-

Esta es una de las principales razones por las que llega a ser muy difícil realizar cualquier tipo de análisis; ya que, sin datos, no se puede hacer un rastreo correcto de las unidades. Dentro de las principales omisiones que se hacen en las formas están:

- 2.1 En la columna de TIEMPO DESDE REPARACION, se observa la omisión de este registro en la mayoría de las formas, en donde, al no contar con los datos, se optó por escribir la palabra "NEW". Esta columna depende de la información que se maneja en la columna de OBSERVACIONES y la columna TIEMPO EN AVION. Es importante hacer notar, como de un error, se generan otros como es el caso en la columna de OBSERVACIONES; que al no contar con información correcta, completa y debidamente escrita, provoca

omisiones en la columna de TIEMPO DESDE REPARACION.

- 2.2 Cuando la UVC llega instalada en un avión recién adquirido, no se especifica si éste es nuevo o ya cuenta con horas de vuelo. Esta información es reelevante debido a que no se le puede aplicar el mismo criterio de mantenimiento a una unidad nueva, que a otra UVC, de la cual no se cuenta con registros previos a la adquisición del avión por a la compañía. Un ejemplo de lo anterior es el límite de vida ó reparación de la UVC. Como se dijo anteriormente, el fabricante sugiere como límite 12 000 horas de vuelo para que se le realice a la unidad (nueva) una reparación total (overhaul) como mantenimiento preventivo. Pero, de las 25 formas de registro de las UVC que se tomaron para este estudio, sólo se podría aplicar a seis de ellas este criterio, debido a que las 19 restantes, llegaron instaladas en aviones rentados que, como ya traen horas de vuelo, es casi imposible saber el historial de estas.

Sin embargo, se les está considerando erróneamente como nuevas y obviamente no están llegando a dicho límite; están presentado fallas de consideración que ameritan reparaciones parciales antes de cumplir las cuatro mil horas en el avión. Para cuando cumplen las 12 000 horas, llevan ya al menos dos ó tres reparaciones parciales.

- 2.3 Se omite el nombre de la persona responsable de llenar las formas de registro. Sin esta información se pierde toda posibilidad de llevar un seguimiento en los reportes de mantenimiento, así como el de realizar cualquier tipo de aclaración con respecto a la información manejada en dichas formas.

3. Información incompleta.-

Todos los datos que se requieren para poder llenar estas formas de registro, son extraídos directamente de las órdenes de trabajo del área de mantenimiento. Una de las claves para tener éxito en la administración de mantenimiento, se encuentra precisamente en las órdenes de trabajo¹⁹. Estas deben proporcionar toda la información necesaria del mantenimiento de las unidades. Pero si las órdenes de trabajo no están debidamente

¹⁹Wireman T., World Class Maintenance Management, Industrial Press Inc., pp. 65, New York 1990

hechas, esto provoca un serio problema; porque al no haber un completo historial de las unidades, su seguimiento a través de las formas de registro, se vuelve meramente especulativo y trae como consecuencia el fracaso de cualquier programa de mantenimiento preventivo.

En la mayoría de las formas de registro se encontró información incompleta por lo menos en uno de los siguientes puntos:

- 3.1 Fecha de instalación-remoción. La ausencia de cualquiera de estos dos datos impide el cálculo del tiempo que la unidad está fuera de servicio: ya sea por revisión mexicana o por reparaciones parciales y/o totales.
- 3.2 Matrícula del avión.
- 3.3 Tiempo en el avión.
- 3.4 No se especifica el motivo de la remoción (reporte de tipo de falla de la UVC).
- 3.5 No se anota la fecha de llegada de la unidad, cuando es mandada a reparación sea parcial o total.
- 3.6 En algunos casos no se anota el número de orden de reparación de la pieza. Sin este dato, se pierde información valiosa como: Quién fue el técnico responsable de la remoción, cuanto tiempo tardó en reparación, cuando regresó la pieza, etc.

4. **Tiempos entre reparaciones parciales.-**

Las UVC que llegaron en aviones en renta, el tiempo promedio entre una reparación parcial y otra del mismo tipo, es aproximadamente de 3 000 horas de servicio, habiendo tenido por lo menos en este tiempo, una ó dos revisiones mexicanas.

5. **Tiempo entre reparación total y parcial.-**

En general, el tiempo aproximado de las unidades después de una reparación total y la siguiente reparación parcial es de 5 000 horas.

2.2.3. **Exploración estadística de los datos**

Los métodos para coleccionar y analizar numéricamente los datos tienen un enfoque principal en la teoría estadística.

Por coleccionar datos, uno puede pensar en tomar sus observaciones de cualquier forma, obteniéndose un muestreo de datos secuencial o no secuencial; la tabulación de datos resulta también una forma posible de coleccionar y ordenar datos. Por el análisis numérico de los datos, se puede pensar en la aplicación de los modelos matemáticos que van a dar una interpretación de los mismos, así como el resultado de medidas estadísticas, que darán un entendimiento a la solución del problema.

Para el análisis de datos de mantenimiento de la UVC, dos aspectos básicos son usados:

1. Cálculo de medidas de tendencia central.
2. Cálculo de medidas de dispersión.

Medidas estadísticas

1. Medidas de tendencia central

- 1.1 **Media.**- Sean x_1, x_2, \dots, x_n , n valores observados, que pueden ser valores tomados por una variable aleatoria X . Entonces la media aritmética es definida como

$$\mu \equiv \bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.1)$$

La media aritmética puede ser llamada también la *media*, o el *promedio*. En términos de teoría de probabilidad μ es llamada la esperanza matemática de la variable aleatoria X .

Un resultado erróneo del promedio, puede radicar principalmente en el mal entendimiento del significado de los valores observados o datos dados; debido a que los valores se encuentran determinados bajo una función de densidad de probabilidad.

- 1.2 **Mediana.**- La mediana de una colección de datos ordenados en orden de magnitud es el valor medio o la media aritmética de los dos valores medios.
- 1.3 **Moda.**- La Moda se define como la medida que determina el valor de la variable que sucede un mayor número de veces. En otras palabras significa el máximo valor que toma la función de densidad de la variable aleatoria \bar{X} , que como uno puede notar, puede ser que se tengan una o más modas, si se consideran máximos locales.

2. Medidas de dispersión

2.1 **Rango.**- Una primera medida de dispersión que se define en estadística, es la llamada el rango. Su concepto estriba en tomar la diferencia del valor superior y el inferior de la variable aleatoria.

2.2 **Varianza.**- Se define la varianza de n números x_1, x_2, \dots, x_n al número

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (2.2)$$

2.3 **Desviación estándar.**- La desviación estándar es la raíz cuadrada positiva de la varianza

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.3)$$

2.2.4. Análisis por grupos: procedencia y variables

Análisis por grupos de UVC según procedencia

Partiendo de la base de datos general, los datos serán clasificados en dos grupos, dependiendo de su procedencia:

- Usadas, aquellas UVC que llegaron instaladas en aviones que cuentan con horas de vuelo.
- Nuevas, aquellas UVC que llegaron instaladas en aviones totalmente nuevos o por pedido.

De esta clasificación, la bases de datos fue analizada, con los mismos atributos, haciendo énfasis en dos clases. El **objetivo** fue poder encontrar similitudes y/o diferencias entre las UVC usadas y las nuevas, a través de la comparación de resultados del análisis estadístico.

El método fue mediante la aplicación de medidas de tendencia central y de dispersión a los datos de ambas bases. Una vez hecho esto, se procedió a concentrar los atributos en un rango menor definido por la resta del promedio con la desviación estandar y por un rango mayor definido por la suma del promedio con la desviación estandar.

A partir de lo anterior, se comenzó a analizar todos aquellos datos que se salían significativamente del rango establecido, así como de aquellos que estuvieron alrededor de la media. Del análisis estadístico se desprendieron una serie de resultados muy importantes.

1. Diferencia de Tiempo Promedio en la nave.-

Las UVC usadas resultaron tener un tiempo promedio de 2 811 horas en el avión; mientras que las UVC nuevas, tan solo 1 663 horas, es decir, 1 148 horas de diferencia.

Interpretaciones y observaciones: Este resultado se torna intrigante, ya que por desgaste natural, se esperaría que las UVC nuevas fueran las que tuvieran mayor tiempo en el avión, mas no es así. Sin embargo, el grupo de nuevas tuvo una desviación estandar de un 39 por ciento, mientras que las UVC usadas, un 60 por ciento.

2. Diferencia entre no. de remociones.-

El promedio de no. de remociones por UVC usadas es de 7.3 a comparación de 7.8 de las nuevas. Este resultado preocupa de la misma forma que en el inciso anterior ya que se esperaba un resultado contrario. Es conveniente remarcar que dentro del no. de remociones de las UVC nuevas hubo pocas reparaciones parciales y totales; no así en las revisiones mexicanas . Esto es más claro si se toma como ejemplo a la UVC 2510-n: Tuvo 13 remociones, de las cuales sólo dos de ellas fueron reparaciones parcial y total respectivamente, mientras que las 11 restantes fueron revisiones mexicanas.

Interpretaciones y observaciones: ¿Por qué se están haciendo tantas revisiones, si las unidades (algunas) no cumplen ni las primeras 12 000 horas de vuelo?. Sería muy útil, además de interesante, conociendo el tipo de falla que se reportó de cada remoción, saber cuáles son las fallas de mayor incidencia y poder hacer con esto un análisis de falla. Desafortunadamente esto no es posible por falta de información.

3. No. de reparaciones parciales y totales.-

Las unidades usadas están teniendo como promedio 2,3 reparaciones parciales y 0,7 reparaciones totales; mientras que, las UVC nuevas tuvieron 1,5 reparaciones parciales y 0,3 reparaciones totales.

Interpretaciones y observaciones: Aunque los resultados en este caso fueron congruentes con el criterio del análisis, sigue siendo muy alto el valor de las reparaciones parciales en las unidades nuevas.

4. Costo por reparación parcial.-

Se está gastando un promedio de 24868,42 dólares en reparaciones parciales hechas en las unidades usadas, con una desviación estandar de 14935,82. En cambio, en las unidades nuevas se gastaron 15750 dólares, con una desviación estandar de 13212,12.

5. Costo por reparación total.-

Las UVC usadas están reportando un costo promedio de 15394,73 dólares por reparación total, contra 6500 dólares de las UVC nuevas.

6. Costo por revisión mexicana.-

El costo promedio por revisión mexicana en las unidades usadas fue de 203,73 dólares y de 294 dólares en las nuevas.

7. Costo por reparaciones parciales, totales y revisiones mexicanas.-

El costo total promedio por reparaciones y revisiones en las UVC usadas es de 40466,89 dólares. Si se considera que una UVC nueva vale 130000 dólares, se está gastando en reparaciones y revisiones casi la tercera parte de su valor comercial. Un ejemplo interesante resulta la UVC usada 2722: Su tiempo total de vida es de 13201 horas, el tiempo promedio en el avión es de 1885 horas; lleva 6 reparaciones parciales, 1 revisión mexicana y lleva hasta ahora 63049 dólares gastados, o sea, el 48 por ciento de su valor comercial.

Interpretaciones y observaciones: El costo total promedio de reparaciones y revisiones en las unidades nuevas es de 22544 dólares, es decir, el 17 por ciento de su valor comercial. Sin embargo, en esta clasificación sobresale la UVC 2653-n: su tiempo total de vida es de 10590 horas, tiene un tiempo promedio en el avión de 1765 horas, lleva 4 reparaciones parciales, 3 revisiones mexicanas y hasta ahora lleva gastados 42147 dólares.

8. Tiempo fuera de servicio por reparación total.-

Es necesario aclarar que el tiempo fuera de servicio, ya sea por reparación total, reparación parcial y revisión mexicana, es el tiempo que la UVC está fuera de servicio, desde que la remueven del avión, la revisan, la mandan a reparar parcial o totalmente al extranjero, la regresan, la almacenan (si no es requerida en ese momento) o la instalan nuevamente en un avión.

Interpretaciones y observaciones: Las UVC usadas tuvieron un promedio de 1844,21 horas fuera de servicio; pero la desviación estandar es de 1905. Esto es comprensible porque hay que considerar que existen UVC a las que no se les ha aplicado una reparación total, por lo que suman con cero. Lo mismo sucede con las UVC nuevas: resultaron con un promedio de 900 horas (la mitad de tiempo que las usadas) con una desviación estandar significativa de 1549,27.

9. **Tiempo fuera de servicio por revisión y/o reparación parcial.-**

Desafortunadamente por contar con información incompleta, no fue posible hacer el cálculo estadístico por separado de estos dos tiempos; por lo que se tuvieron que sumar ambos. Tanto las UVC nuevas como las usadas, tuvieron un tiempo promedio fuera de servicio por revisión y /o reparación parcial muy elevado: 10720 horas las unidades nuevas y 724,21 las usadas.

10. **Tiempo total fuera de servicio.-**

Dentro del tiempo total fuera de servicio, existe de forma implícita un tiempo muy importante que es el de almacenamiento. Durante el análisis se detectó que después de ser devueltas las UVC ya reparadas, algunas permanecieron almacenadas hasta por 8 meses. Esto trae consigo un costo por almacenamiento el cual se hubiese podido calcular si se contara con el tiempo por almacenamiento de forma explícita.

Interpretaciones y observaciones: Llama la atención el promedio tan elevado del "tiempo total fuera de servicio" que resultó tanto en las unidades usadas (9568,42 horas) como en las nuevas (12248 horas) siendo éstas las que más estuvieron sin operar.

Gráficas estadísticas de comparación entre diferentes variables.

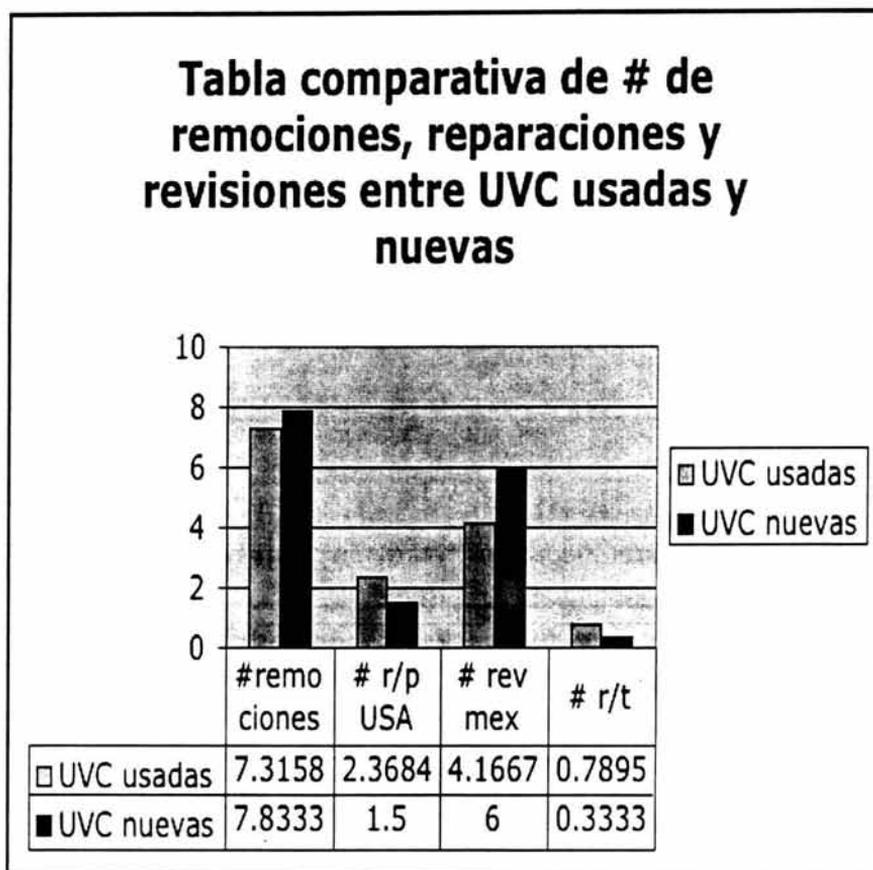


Figura 2.2: Gráfica estadística de diferencias de tiempos promedios de las UVC usadas y nuevas.

Tabla comparativa de # de remociones, reparaciones y revisiones entre UVC usadas y nuevas

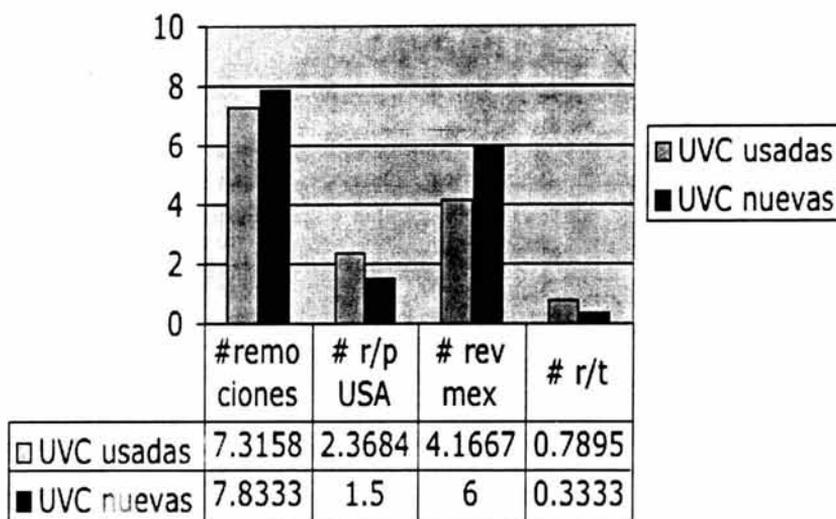


Figura 2.3: Gráfica estadística de las diferencias de costos de las UVC usadas y nuevas.

Tabla de diferencias de costos en dolares de UVC usadas y nuevas

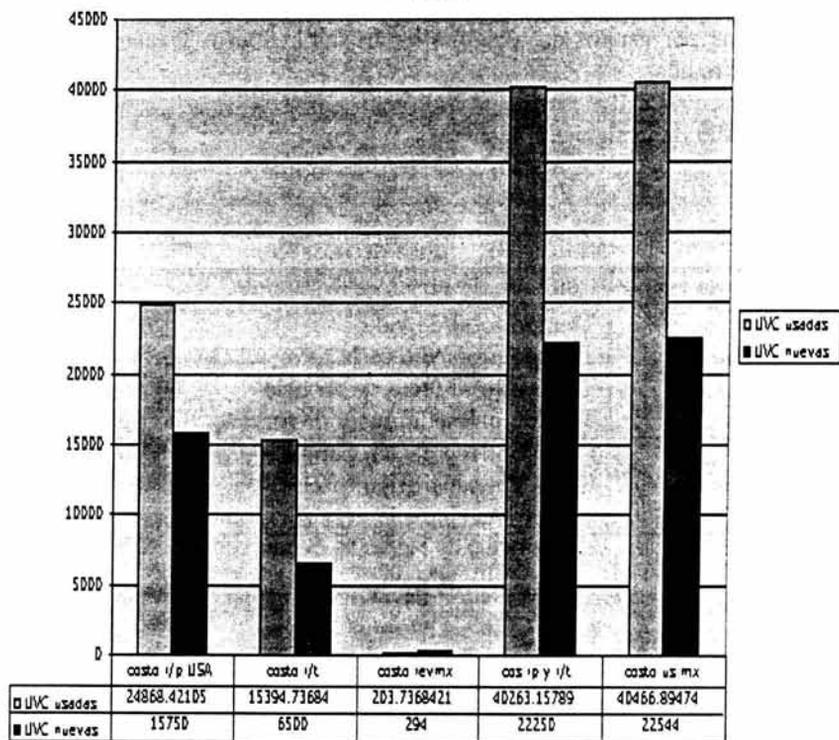


Figura 2.4: Gráfica comparativa entre la UVC usadas y nuevas.

Análisis por grupos de variables.

De la base general de datos así como de las bases de datos de UVC usadas y nuevas se procedió al análisis por grupos de variables según sus atributos y relaciones que estas pudieran tener entre ellas.

La agrupación se dio de la siguiente manera:

Análisis por grupos de variables	
Tipo de grupo	Conjunto de variables
Grupo 1	Tiempo total de vida. Tiempo promedio en la nave Tiempo total fuera de servicio Tiempo promedio fuera de servicio
Grupo 2	Costo por reparación parcial. Costo por reparación total. Costo por reparaciones y revisiones mexicanas

Observaciones del grupo 1

- Tomando el promedio general del tiempo total de vida (17801 horas) y el promedio general del tiempo total fuera de servicio (10211 horas) se detectó que las UVC están fuera de servicio alrededor del 57 por ciento del tiempo con referencia al tiempo total de vida. Ahora: si se toman por separado por ejemplo las UVC nuevas, resulta que casi es igual el tiempo total de vida que el tiempo total que están sin trabajar: 12349 horas de T.T. de vida y 12248 horas de T. T. fuera de servicio. Lo anterior hace pensar que se está manejando un inventario sobrado de UVC en el almacén; lo que generaría costos del capital invertido y costos de mantenimiento del inventario entre otros.
- El tiempo promedio en el avión de la base general de datos fue de 2536 horas; un promedio bajo si se considera que hay UVC usadas, que tienen un tiempo promedio en el avión de 5596 horas de vuelo . El promedio del tiempo promedio fuera de servicio es de 1771 horas, es decir , que las UVC están sin operar 1771 horas aproximadamente entre cada instalación en el avión.

Observaciones del grupo 2

- El costo por reparaciones parciales está siendo mucho mayor que el costo por reparación total. Esto se ve más claro si se toman como referencia los promedios generales de dichos costos: el costo promedio por reparación parcial es de 22680 dólares mientras que el costo promedio por reparación total es de 13260 dólares (casi la mitad del primero).

2.3. Definición de políticas de mantenimiento

Posterior a la etapa de elección de fines, es decir, de objetivos y metas (definidos en el apartado 2.1.2 para la UVC), la siguiente etapa de la metodología de la planeación interactiva es la definición de medios, es decir, las políticas que deberán conducir al sistema de su estado presente al futuro deseadado, como lo explica Tomás Miklos [Miklos 2000].

De la misma forma que la administración general, la administración del mantenimiento requiere de políticas específicas que permitan alcanzar sus objetivos bajo un marco normativo ²⁰. En el caso particular de la UVC, después de haber explorado y de haber hecho el análisis estadístico, se observó la necesidad de reglamentar los procedimientos de tipo técnico y administrativos con el objeto de alcanzar los metas del mantenimiento: mayor rendimiento de la unidad a un menor costo.

Es por esto que se definieron las siguientes políticas técnico-administrativas:

2.3.1. Políticas Técnicas

1. Se clasifica a las UVC por su procedencia:
 - **Usadas:** Cuando lleguen en aviones rentados y/o comprados los cuales lleven ya horas de vuelo.
 - **Nuevas:** Cuando lleguen instaladas en aviones totalmente nuevos o por pedido a la fábrica.
2. A todas las UVC (nuevas y usadas) se les incluye en el programa de mantenimiento RCM.

²⁰Page S., *Establishing a System of Policies and Procedures*, Process Improvement Publishing, p. 7, Ohio 2000.

3. Se continua aplicando el criterio del fabricante de realizar una reparación total a las primeras 12000 horas de vuelo a las UVC nuevas. Posteriormente se reducirá a 7000 horas el límite de reparación total, dependiendo de su condición.
4. A todas las UVC usadas recién llegadas por vez primera a la compañía se les aplica una reparación total. Posteriormente, su límite de reparación total será cada 7000 horas de vuelo, dependiendo de las condiciones en que ésta se encuentre.

2.3.2. Políticas Administrativas

1. Creación de formas y hojas de registro. Se anota en las hojas de registro el nombre de la persona responsable de llenarlas. .
2. Especificación descriptiva y motivos. Cada vez que se realiza una remoción, se especifica en la hoja de registro el o los motivos de esta, así como el número de la orden de trabajo correspondiente.
3. Gestión y tiempos. Se anota en la hoja de registro tanto la fecha de salida de la unidad a reparación parcial o total así como su llegada de nuevo al almacén.
4. Descripción de atributos. El sistema de órdenes de trabajo contempla los siguientes atributos de los componentes que estén dentro del programa de mantenimiento RCM: el tiempo medio entre fallas, tiempo medio de reparación, causa de la falla, tipo de reparación, acción correctiva que se llevó al cabo y la fecha de revisión y/o reparación.

Por último, cabe mencionar que con la aplicación de las políticas anteriores se logra controlar las siguientes variables que hasta ahora han sido incontrolables:

-Tiempo esperado de vida (políticas técnicas 1,2 y 4).

-Tiempo medio entre fallas y

-frecuencia de tipo de falla (política técnica 3).

-Personal involucrado en el registro individual de unidades (política administrativa 1).

-No. de órdenes de trabajo y

-fecha de revisión y/o reparación (política administrativa 2)

-Tiempo que la unidad permanece en el almacén,

-tiempo por reparación parcial,

-tiempo por reparación total y

-costo por inventario (política 3).

Una vez definido lo anterior ahora corresponde establecer las políticas correspondientes, que es el tema del capítulo siguiente.

2.4. Conclusiones

Del análisis de la información realizado a las formas de registro de unidades de la empresa "X" se observa en el apartado 2.2.3 que no hay uniformidad de criterio para vaciar los datos que ahí se requiere, existe un promedio aproximado de un 35 por ciento en omisión de datos y se está manejando información incompleta de las UVC.

Para que las hojas de registro individual de unidades cumpla satisfactoriamente su función, que es darle un seguimiento de mantenimiento a las UVC, es necesario contar con la información completa (obtenida por medio de las órdenes de trabajo) debidamente capturada bajo un criterio definido; además de contemplar ciertos atributos que son indispensables para análisis estadísticos y de confiabilidad, tales como: tiempo medio entre fallas, tiempo medio de reparaciones, causa de falla, por mencionar solo algunos.

Es indispensable clasificar a las UVC según su procedencia con el objeto de aplicarles políticas de mantenimiento más adecuadas dependiendo al grupo que pertenezcan (apartado 2.3). De esta manera los costos por reparaciones parciales se reducirían. Lamentablemente no fue posible hacer un análisis de costo-beneficio debido a que la información que se proporcionó resultó incompleta.

El excesivo tiempo que las unidades están fuera de servicio después de las reparaciones hechas en el extranjero, el 57 por ciento del promedio general del tiempo total de vida; obliga a realizar una revisión exhaustiva al sistema de control de inventarios con el fin de reducir dicho tiempo y los costos que esto genera.

Debido a que el tiempo promedio en la nave de las UVC nuevas es de 59 por ciento menor con respecto al tiempo promedio en la nave de las UVC usadas y el número de remociones de las UVC nuevas excede en un 6 por ciento con respecto a las usadas, como se observa en el apartado 2.2.4, es necesario realizar un análisis de fallas con el objeto de encontrar y corregir las anomalías, incrementando así el rendimiento de las unidades.

En términos de costos, considerando que una UVC nueva vale 130000 dólares, se está gastando por reparaciones y revisiones casi la tercera parte de su valor comercial (véase apartado 2.2.4), cuando todavía la mayoría de las UVC no rebasan el límite de 2 reparaciones totales. Es evidente que el mantenimiento correctivo que se les está aplicando a las UVC en general no es el más indicado.

Por último, resulta prioritario la inclusión de las UVC al programa de mantenimiento preventivo acompañado de políticas técnicas y administrativas previamente definidas en el apartado 2.3, logrando con ello un seguimiento al 100 por ciento, un incremento en el rendimiento de la UVC de al menos un 90 por ciento y un abatimiento de costos por

mantenimiento de al menos el 50 por ciento.

Referencias

- [2.1] Ackoff Russell -*Planificación de la empresa del futuro* Editorial Limusa, 17 reimpresión México, 2003
- [2.2] Ackoff Russell -*El arte de resolver problemas* Editorial Limusa, 20 reimpresión México, 2003
- [2.3] Guttman I., Wilks S., Hunter J. -*Introductory Engineering Statics* J. Wiley and Sons, second edition, 1971
- [2.4] Page Stephen B. -*Establishing a System of Policies and Procedures* Process Improvement Publishing, first edition, Ohio, 2000
- [2.5] Spiegel M. -*Teoría y problemas de Estadística* Editorial McGraw-Hill, México, 1970
- [2.6] Wireman Terry *World Class Maintenance Management* Industrial Press Inc., first edition, New York, 1990

Capítulo 3

Establecimiento de Políticas y Escenarios Propuestos

Objetivo Presentar las políticas de mantenimiento para una mejora continua del mantenimiento, proponiendo un Sistema Computarizado para la Administración del Mantenimiento (SCAM). La finalidad consiste en automatizar el control de mantenimiento clásico y aplicar el modelo de RCM. Con las nuevas tecnologías de la información, es posible desarrollar el (SCAM) con una alta eficiencia que satisfaga las políticas de la empresa.

3.1. Establecimiento de las políticas propuestas

En el capítulo anterior se definieron las políticas de mantenimiento para la UVC como una propuesta para mejorar el mantenimiento de la unidad. A continuación se establecerán dichas políticas de acuerdo sus dos características principales: técnicas y administrativas.

3.1.1. Técnicas

1. **Se clasificará a las UVC por su procedencia.** En el capítulo anterior se observó cómo se está manejando indistintamente a las UVC nuevas y usadas, trayendo como consecuencia bajo rendimiento y continuas reparaciones parciales. Esta clasificación se anotará en las hojas de registro.

2. **A todas las UVC (nuevas y usadas), se les incluirá en el programa de RCM.**

El establecimiento del RCM en la UVC está dado por las siete etapas básicas del proceso de RCM²¹.

Etapa 1: *Selección de las áreas de importancia.*

Incluir en la lista de partes y/o sistemas que ya están en RCM a la UVC.

Etapa 2: *Determinar funciones claves y metas productivas.*

- a) La función que realiza la UVC es primaria²².
- b) La actuación que se espera de la UVC es la de mayor rendimiento.

Etapa 3: *Determinar fallas funcionales posibles.* Aquí se determinan los límites (mínimo y máximo) de funcionalidad de la UVC de acuerdo al manual de vuelo del DC-9.

Etapa 4: *Determinar el modo de falla probable.*

Las fallas más comunes que se presentan en la UVC son tres:

- a) Alta temperatura en el aceite.
- b) Ruptura de flechas.
- c) Cuando el generador no entra en paralelo.

Etapa 5: *Elegir la táctica factible y efectiva de mantenimiento.*

²¹Campell J., Uptime, Productivity Press, p. 107, New York 1995.

²²Función básica para la que fue diseñada la pieza.

El siguiente diagrama lógico simplifica la selección del mantenimiento.

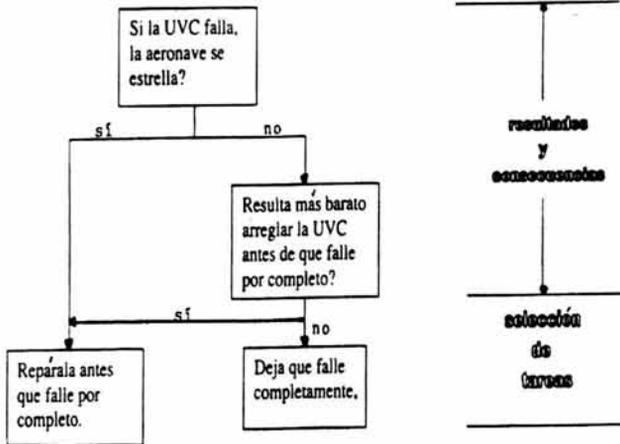


Figura 3.1: Diagrama lógico simplificado para la elección del mantenimiento

Para manejar exitosamente una falla, la táctica del mantenimiento preventivo debe ser: técnicamente factible y efectivo en término de costos²³.

Para que sea factible debe satisfacer los siguientes criterios:

- a) La posible detección de la condición de desgaste o del desempeño de la pieza.
- b) La falla podrá predecirse conforme se avance, desde su primer instancia hasta que llegue a descomponerse totalmente.
- c) El monitoreo de la pieza, considerando menos tiempo que el tiempo que le toma al problema para presentarse totalmente.
- d) Se deben tomar acciones para evitar fallas.

Para que sea efectivo, en término de costos, el mantenimiento preventivo debe reducir la probabilidad y/o consecuencias de falla a niveles aceptables. Es necesario implementarlo en el menor tiempo posible y considerarlo dentro del presupuesto. Dentro de estos límites, una táctica de mantenimiento es considerada efectiva en término de costos si:

²³Idem

- a) Para problemas ocultos, ésta corta la oportunidad de una falla múltiple a un nivel aceptable.
- b) Para fallas con efectos de seguridad y/o ambientales, los riesgos son mantenidos en niveles mínimos aceptables.
- c) Para fallas con consecuencias de mantenimiento, el costo por mediciones preventivas resulta menor que reparar la falla que de todas formas se presentaría.

Para la UVC se recomienda seguir la táctica del Mantenimiento Basado en la Condición (CBM) ya que ésta ayuda a enfocar mejor las acciones correctivas y se obtiene un mayor rendimiento de la unidad.

Etapa 6: *Implementar la táctica seleccionada.* La agenda son las acciones necesarias que se deben tomar para llevar al cabo las tácticas previamente seleccionadas. Dentro de la agenda se deben incluir:

- a) Renovar los programas de mantenimiento.
- b) Desarrollar o revisar las instrucciones de las tareas.
- c) Especificar las partes de repuesto y ajustar el nivel de inventario.
- d) Obtener el diagnóstico o la prueba de equipo.
- e) Revisar la operación y procedimientos del mantenimiento.
- f) Especificar la necesidad de reparación o el procedimiento de almacenamiento.
- g) Conducir el entrenamiento en los nuevos procedimientos.

Para asegurar una correcta coordinación de la agenda, se debe de desarrollar un plan integral. Este plan debe de acentuar las acciones requeridas, asignar responsabilidades y por último programar fechas para su cumplimiento.

Etapa 7: *Optimizar las tácticas y programa.* Se sugiere que se hagan ajustes periódicamente. En particular la frecuencia de las tácticas se deben ajustar para poder reflejar el historial de operación y mantenimiento de las UVC.

Los objetivos de esta actividad progresiva son:

- a) Reducir las fallas de la UVC.
- b) Mejorar la efectividad del mantenimiento preventivo y el uso de recursos.
- c) Identificar la necesidad de expandir la revisión y reaccionar al cambio de condiciones económicas e industriales.

Para lograr estos objetivos, deben integrarse dos actividades complementarias a este programa de mejora continua:

- a) La revisión y revaluación de los resultados de la aplicación de RCM en la UVC.
- b) La frecuencia de revaluación dependerá en cierto grado de la edad de la unidad.
- c) Un proceso continuo de monitoreo, retroalimentación y de adaptación. Este proceso analiza y valora los datos obtenidos por las actividades de mantenimiento para la tasa de falla, causas y tendencias. Éste incluye a las varianzas entre el desempeño actual y el desempeño que se desea alcanzar. Una vez hecho esto, se podrán tomar acciones correctivas. Estas pueden ser:
 - Cambiar el tipo de tarea.
 - Alcance o frecuencia de las acciones.
 - Revisión de procedimientos.
 - Brindar entrenamiento adicional.
 - Por último cambiar de diseño.

3. **Se continuará aplicando el criterio del fabricante de realizar una reparación total a las primeras 12000 horas de vuelo a las UVC nuevas, como medida preventiva. Posteriormente se reducirá a 7000 horas el límite de reparación total, dependiendo de la condición de la UVC en ese momento.**

De los resultados obtenidos en el capítulo anterior se observó que las UVC, después del primer ciclo de 12000 horas en donde se mandaba a reparación total, las UVC no llegaban al segundo ciclo para ser mandadas a reparación total como medida preventiva sin antes aplicárceles hasta tres reparaciones parciales.

Se observó también que después de una reparación total, la UVC funcionaba entre 5000 y 7000 horas sin reparaciones parciales, es por esto que se determinó establecer el límite para reparaciones totales (como medida preventiva) el de 7000 horas sólo en caso de que la UVC lo requiera. Este nuevo límite se establecerá en las hojas de registro.

4. **A todas las UVC usadas recién llegadas por primera vez a la compañía se les aplicará una reparación total. Posteriormente, dependiendo de su condición, su límite de reparación total será cada 7000 horas de vuelo.**

Hasta ahora a las UVC usadas, en cuanto llegan por primera vez a la compañía se les considera como nuevas y se les aplica el mismo criterio del fabricante de hacer una reparación total como medida preventiva.

Porsupuesto nunca llegan a ese límite sin pasar por varias reparaciones parciales. Es por esto, que se recomienda efectuar la reparación total al llegar la UVC a la compañía, y entonces a partir de ahí hacerles las reparaciones totales cada 7000 horas.

Estos límites se especificarán en las hojas de registro.

3.1.2. Administrativas

1. Creación de formas y hojas de registro.

Implementación de un método basado en formas de registro. Se anotará en las hojas de registro el nombre de la persona responsable de llenarlas. Esto se hará con el fin de llevar una mayor control en el manejo de la información indispensable para cualquier aclaración que se requiera, el seguimiento y análisis posteriores de fallas de la unidad.

2. Especificación descriptiva y motivos

Cada vez que se realice una remoción, se especificará en la hoja de registro el o los motivos de la remoción así como el número de la orden de trabajo. Con esta información se podrá realizar análisis de fallas, necesario para el programa de RCM y se podrá cotejar más fácilmente la información directamente de las órdenes de trabajo.

3. Gestión y tiempos.

Se anotará en la hoja de registro, tanto la fecha de salida de la unidad a reparación parcial o total así como su llegada de nuevo al almacén. Esto se hará con la finalidad de llevar un control más exacto del tiempo de reparación parcial y o total de la unidad así como del tiempo que la unidad se encuentra en el almacén ya reparada. Con estos datos se podrán estimar costos por almacenamiento y llevar al cabo una optimización en el sistema de inventarios.

4. Descripción de atributos.

El sistema de órdenes de trabajo contemplará los siguientes atributos de los componentes que estén dentro del programa de mantenimiento

RCM²⁴:

- a) El tiempo medio entre fallas.
- b) El tiempo medio de reparaciones.
- c) La causa de la falla.
- d) El tipo de reparación.
- e) La acción correctiva que se llevó al cabo.
- f) La fecha de revisión y/o reparación.

Todo lo anterior es necesario para cuando se elaboren las formas de registro individuales de forma completa. La metodología de registro y recopilación de información es llevada al modelo conceptual de diseño de base de datos, para posteriormente se implemente en una base de datos. Toda la información es vista de manera integrada y será posible responder consultas y administrar el sistema de manera eficiente.

Ahora bien, una vez establecidas las políticas, con el siguiente sistema computarizado para la administración del mantenimiento, se abarcan las dos últimas etapas de la planeación: La planeación de recursos y el sistema de evaluación y control.

3.2. Sistema Computarizado para la Administración del Mantenimiento

En esta sección el objetivo es presentar el "*Sistema Computarizado para la Administración del Mantenimiento*" (SCAM). La meta es obtener un sistema que atienda los niveles de control y gestión del mantenimiento y, la mejora continua. El resultado es aumentar la eficiencia en el mantenimiento propiciando un proceso de reingeniería de la empresa.

De acuerdo a la pirámide de enfoque estructural del mantenimiento según la figura 3.2, el SCAM deberá ser desarrollado con módulos enfocados a los niveles anteriormente mencionados. Cada nivel debe ser integrado a la organización de la empresa de tal manera que permita aplicar el análisis funcional y el modelo de datos, en el diseño e implementación del SCAM.

1. **Nivel de gestión y control del mantenimiento.**- En este se describe las funciones principales para la gestión y control del mantenimiento,

²⁴Wireman T., World Class Maintenance Management, Industrial Press Inc., capítulo 4, New York 1990.

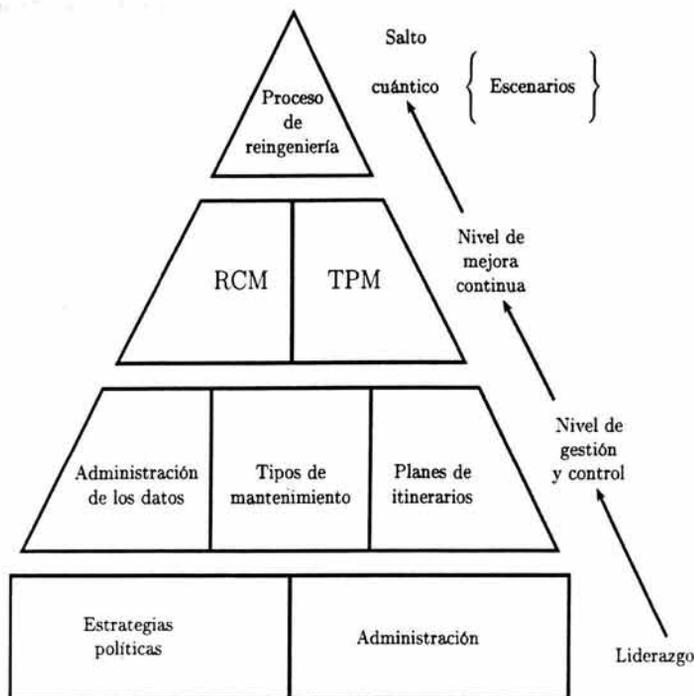


Figura 3.2: Estructura piramidal de los niveles de mantenimiento

constituidas por: tipos de mantenimiento, planes e itinerarios y, administración de la información.

2. **Nivel de mejora continua.**- Este es el tercer nivel de la pirámide, y considera el modelo de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM y el mantenimiento de productividad total TPM.

3.2.1. Nivel de gestión y control del mantenimiento

Objetivo.- Definir un conjunto básico de módulos, los cuales sirvan en el nivel correspondiente. La meta es una descripción de las funciones de cada órgano de la empresa bajo las políticas establecidas según la sección anterior.

Control y planeación de la producción

1. **Identificación de equipo y lista de materiales.**- Se requiere un método de colección de los objetos de datos relacionados a equipo y materiales. El registro en formas de datos y un mecanismo de identificación y descripción semántica.
2. **Esquema de datos.**- Registro de todos los ensambles, componentes, y partes que constituyen los equipos. Identificación y descripción de esquemas de acuerdo al modelo conceptual entidad-vínculo.
3. **Mantenimiento preventivo.**- Un módulo basado en métodos establecidos en la empresa para el itinerario del mantenimiento. Establecimiento de planes de mantenimiento basados en ciertas políticas de la empresa.

Finanzas

1. **Administración de órdenes de trabajo.**- Módulo para la administración del proceso de aperturas de:
 - a) Nuevas órdenes de trabajo,
 - b) estimación de costos,
 - c) clasificación de acuerdo a su prioridad,
 - d) seguimiento de los estados de los acuerdos.
2. **Planeación e itinerario.**- Módulo para:
 - a) Especificación de tiempos y tareas,
 - b) recursos requeridos para hacer el trabajo,
 - c) itinerarios para trabajos de mantenimiento preventivo,
 - d) itinerarios para trabajos de mantenimiento correctivo.

Recursos humanos

1. **Control de inventarios.**- Módulo para el manejo del inventario almacenado. Su función es dar seguimiento del inventario acerca del manejo y uso, costos y localización, de los componentes inventariados para el mantenimiento. Eventualmente, este sistema se encuentra en los órganos de almacén.
2. **Trabajos.**- Registro del personal de mantenimiento. Descripción de los atributos del personal de acuerdo a:

- a) Sus destrezas,
- b) sus itinerarios de vacaciones,
- c) historia de entrenamiento,
- d) disponibilidad y empleo en cada momento.

La meta es tener una base dinámica para el mejor aprovechamiento de los órdenes de trabajo y el control de atrasos.

Requerimientos de ingeniería

1. **Historia del equipo.**- Módulo que contemple la historia del equipo. Las funciones claves son registradas en historias de:
 - a) Mantenimientos totales,
 - b) reparaciones,
 - c) costos,
 - d) trabajos,
 - e) tiempos fuera y,
 - f) utilización.
2. **Causa-modo de falla.**- Módulo para el análisis de las fallas según su modo y su causa. Descripción de fallas de componentes o sistemas ocasionadas por un evento simple o secundario. Descripción de falla modo común, considera diferentes componentes que pueden fallar de un modo común.
 - a) Registro del seguimiento de causas y modo de las fallas del equipo,
 - b) registro de los eventos especiales en el ciclo de vida del equipo,
 - c) registro de las especificaciones técnicas del equipo relativas a parámetros físicos,
 - d) registro de las especificaciones técnicas del equipo relativas a probabilidades de fallas.
3. **Costos y presupuestos.**- Módulo para estimar los costos y presupuestos de los proyectos de mantenimiento.
 - a) Costo acumulado del proyecto,
 - b) costos reales en varios centros de trabajo,
 - c) materiales,
 - d) servicios y,
 - e) gastos generales por reparación.

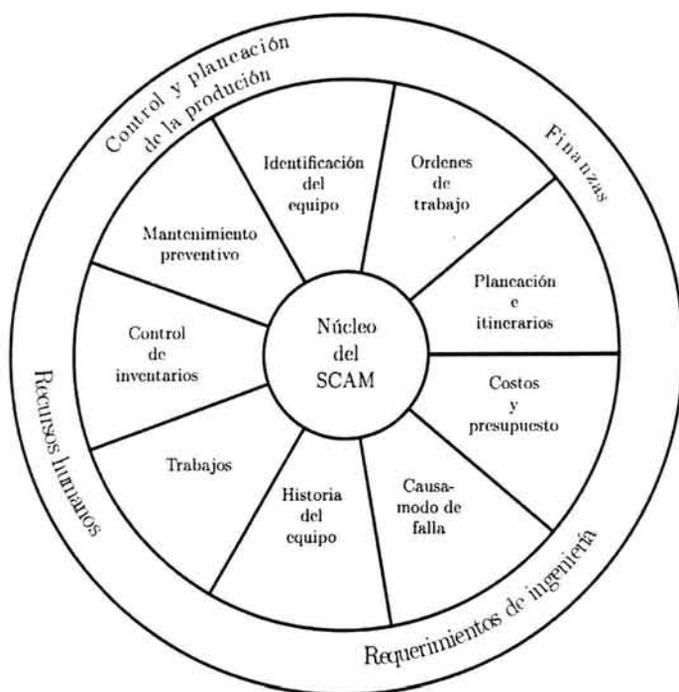


Figura 3.3: Entorno de los distintos módulos que intervienen alrededor del núcleo del SCAM.

3.2.2. Nivel de mejora continua del mantenimiento

Objetivo.- Definir los módulos para lograr una mejora continua en el mantenimiento. La meta es una descripción de los mecanismos, métodos y recursos para la implementación de la mejora continua del mantenimiento.

Entendimiento del RCM en el Staff de la planta

1. **Publicación y difusión.-** El objetivo en esta etapa es la implantación de los procedimientos y manuales de mantenimiento. La meta, mantenerlos en medios electrónicos en un servidor de Web.
2. **Agendas y foros de discusión.-** Mecanismos y medios para el entendimiento de los conceptos de RCM. Creación de foros en intranet para la

discusión de grupos de interés en los problemas de mantenimiento.

Revisión, actualizaciones y recomendaciones

1. **Revisiones y actualizaciones.**- Recursos para elaboración automática de revisiones en un ambiente de colaboración.
2. **Recomendaciones.**- Módulo para la difusión expedita de recomendaciones presentadas en el mantenimiento.
3. **Documentación.**- Edición de documentos, con base en las especificaciones y estándares que satisfagan los requerimientos. Ambiente electrónico para la edición cooperativa de documentos con la meta de facilitar la aceptación de recomendaciones.

Mantenimiento basado en alertas y alarmas

1. **Reglas y alertas.**- Descripción de políticas de mantenimiento basado en la implantación de reglas que determinen alertas que puedan generar automáticamente acciones preventivas.
2. **Programas de inspección.**- Descripción de eventos específicos y condiciones particulares, para la generación automática de inspección de equipo.
3. **Reglas y alarmas.**- Descripción de políticas de mantenimiento basado en la implantación de reglas que determinen alarmas que generen rápidas acciones correctivas.
4. **Implantación de procedimientos.**-
 - a) Tácticas de restauración y reparación basadas en el tiempo.
 - b) Tácticas de restauración y reparación basada en probabilidad de falla.
 - c) Tácticas combinadas.

Los dos niveles de abstracción del mantenimiento son llevados al SCAM mediante un panorama donde se presentan los módulos claves, como el entorno al núcleo del sistema y la base de datos de mantenimiento, según la figura 3.3

3.2.3. Tecnología y arquitectura del SCAM

El núcleo del SCAM está constituido de varias tecnologías de la información, en donde la base de datos de mantenimiento (ver figura 3.4) es el elemento principal. El sistema se desarrolla de acuerdo a las necesidades presentadas por cada uno de los niveles de la administración del mantenimiento que se presentan como entorno según la figura 3.3. Existen elementos relevantes como la propuesta de una metodología de diseño, el enfoque a base de datos activa y un ambiente de Intranet.

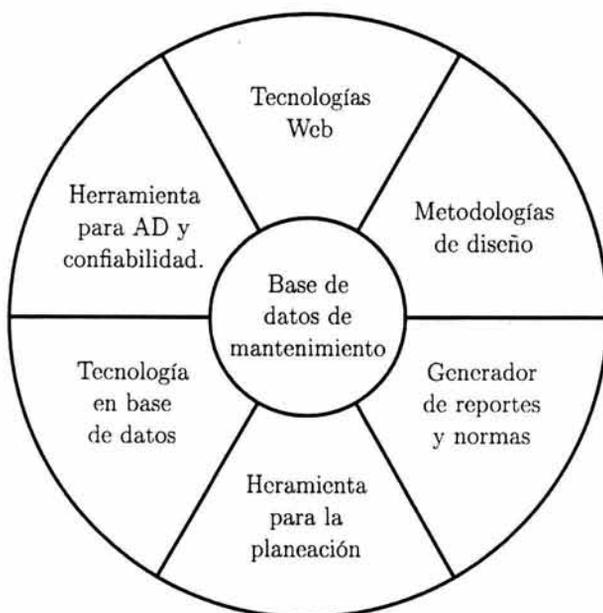


Figura 3.4: Núcleo del SCAM: las tecnologías de la información y la base de datos de mantenimiento.

Tecnologías de la información.

Objetivo.- Señalar la tecnología de la información, que es importante para la construcción del SCAM. La meta es tener una base tecnológica que nos permita configurar una arquitectura general del SCAM. En la sección 3.2.6 se presenta una evaluación del sistema.

1. Internet/Intranets y tecnologías Web.

- Diseño de la capa Web
 - Especificación de la documentación en XML²⁵:
 - Manuales y procedimientos de mantenimientos.
 - Formas de trabajo.
 - Consultas y actualizaciones a la base de datos de mantenimiento.
2. **Metodologías de diseño.**
 - Recolección y análisis de requerimientos.
 - Diseño conceptual de vistas.
 - Integración de vistas.
 3. **Tecnología de base de datos.**
 - Base de metadatos.
 - Modelo relacional de datos.
 - Manejador de bases de datos relacionales.
 - Modelo de base de datos activa.
 4. **Administrador y generador de reportes y formas**
 - Generador de gráficas de estadística descriptiva.
 - Generador de reportes de texto.
 - Administrador de reportes y formas de trabajo.
 5. **Herramientas para la planeación.**
 - Cartas de Gantt.
 - Diagramas de Pareto.
 - Estándares de tiempos de atraso.
 6. **Herramienta para el análisis de datos y confiabilidad.**
 - Árboles de falla.
 - Estadística en confiabilidad.

Arquitectura general del SCAM

La figura 3.5 muestra la arquitectura general del sistema en donde se han incorporado los componentes de la sección anterior. El lector podrá identificar algunos requerimientos generales mostrados implícitamente en la sección anterior en los “sockets” descritos en el diagrama.

²⁵XML es un lenguaje extensible markup [meta-markup] para documentos de texto. Una referencia importante es [3.4]

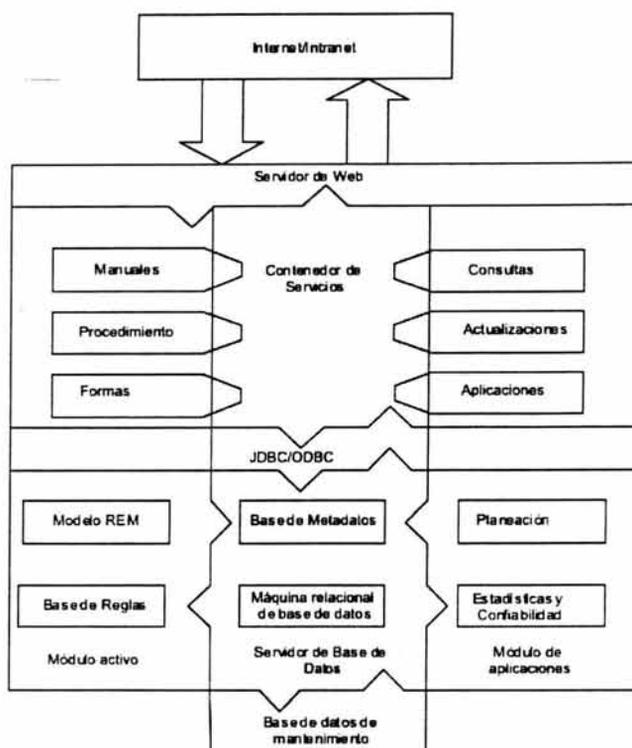


Figura 3.5: Arquitectura del Sistema Computarizado para la Administración del Mantenimiento

En el sistema SCAM ²⁶3.5 se muestran 4 capas principales. De abajo hacia arriba se tienen los siguientes componentes: La base de datos de mantenimiento en el nivel más bajo. En seguida, el servidor de base de datos con interconexiones con programas de aplicación en estadística y planeación por un lado y, por el otro con el modelo activo. En el nivel posterior se tiene la conexión con el contenedor de servicios Web. El contenedor Web tiene una serie de documentos en XML y el modelo de navegación de consulta. Finalmente, en la capa superior se tienen los servicios con los clientes y los métodos de acceso y actualizaciones a la base de datos.

1. Base de datos de mantenimiento.- La base de datos diseñada con-

²⁶Se muestran las distintas capas de software que se conectan de abajo hacia arriba. En cada una de ellas existen algunos sockets considerando módulos importantes del sistema, los cuales pueden ser identificados como parte de cada nivel de mantenimiento.

ceptualmente por el método entidad-vínculo. Es implementada en tablas físicas en el manejador de base de datos de acuerdo al modelo relacional de datos. Se basa en

- Vista de entidades de componentes o partes, sistemas y subsistemas.
 - Vista de personal que administra el proyecto e ingenieros de mantenimiento.
 - Vista de entidades relativas a la confiabilidad, descripción de fallas y mecanismos para la prevención y reparación de fallas.
2. **Servidor de base de datos y aplicaciones.**- En esta capa se encuentra principalmente tres módulos, los cuales interactúan entre sí para resolver un problema en general. La conexión la lleva a cabo de manera estandar con JDBC ²⁷ o ODBC ²⁸
- Servidor de base de datos.- Este contiene fundamentalmente el manejador de base de datos con su base de meta-datos para la descripción semántica.
 - Servidor de aplicaciones.- Consiste de un módulo que lleva al cabo las aplicaciones para la planeación y estadísticas de la confiabilidad.
 - Módulo activo.- Es un módulo que almacena reglas evento-condición-acción y los mecanismos de ejecución de acuerdo al modelo de mantenimiento por condición.
3. **Servidor Web.**- Es el mecanismo de acceso y almacenamiento de información para la tecnología Internet/Intranet.
- Repositorio de documentos.- Manuales, procedimientos y formas.
 - Consultas, Actualizaciones y aplicaciones.
4. **Nivel conceptual.**- Es el nivel más alto que se proporciona al cliente o el usuario. De la misma manera todas las metodologías para el diseño del sistema.
- Interfaces de usuario. Ambientes visuales para la representación de la información.
 - Recolección y análisis de requerimientos.
 - Metodologías de diseño. Funcional, eventos y datos.

²⁷JDBC es la abreviación de Java Database Connectivity. Corre en ambiente cliente-servidor, en donde el cliente suministra una implementación de la interface java.sql [3.5].

²⁸ODBC es la abreviación de Other Data Base Connectivity, como parte del estandar de la familia del sistema operativo Windows de Microsoft para soportar interacción con bases de datos SQL [3.5].

3.2.4. Metodología de diseño del SCAM

El diseño del SCAM, para que cumpla con las políticas de la empresa, requiere de la participación de tres enfoques principales: 1) orientado a estructura: 2) orientado a procesos, y 3) orientación por comportamiento. Las orientaciones de diseño se llevan al cabo a través de una metodología de varias etapas, las cuales se describen enseguida.

Análisis funcional y estructurado de la organización

Análisis estructurado de la organización.- La estructura organizacional ofrece un marco donde el trabajo se divide entre los distintos órganos e interrelacionan funcionalmente. Las tareas específicas son asignadas a la funcionalidad de las áreas, determinando límites de autoridad establecidos por su competencia.

El objetivo en esta etapa es llevar al cabo la descripción funcional de la empresa para encontrar el flujo de información y su transformación en las áreas requeridas.

Análisis funcional y las políticas de la organización.- Las políticas y procedimientos juegan una parte estratégica en una compañía, en donde el/los administradores son los responsables de que los empleados lleven a cabo las políticas.

El objetivo de esta etapa, es analizar cómo aplican las políticas en la empresa considerando un ambiente de funciones y tareas las cuales circunscriben a los empleados. Así también, el monitorear como evolucionan los procedimientos y si se encuentran fallas, aplicar mecanismos de corrección y dar seguimiento a la solución de tales problemas.

Para el diseño del SCAM son importantes tres aspectos:

- **Definición de roles de los empleados.-** Las políticas y procedimientos son los mecanismos de la empresa que permiten definir los roles de los administradores y subordinados.
- **Descripción funcional entre entidades de la organización.-** Se describe el conjunto de funciones que tiene cada área, estableciendo las condiciones que deben satisfacer los eventos para que la administración lleve al cabo acciones.
- **Descripción de atribuciones de los empleados.-** En esta parte se describe la competencia, restricciones y funciones de los empleados que se encuentran en cada órgano de la empresa. Se determinan claramente

las fronteras entre las funciones del trabajo de cada empleado. Se establecen las condiciones que se deben satisfacer a los eventos para que la administración instrumente las acciones.

Recolección y análisis de requerimientos.

La recolección y análisis de requerimientos inicia a partir de la especificación de los objetivos y la misión del sistema de información en cuestión. A partir de esto tenemos dos etapas:

- Recolección de requerimientos.
- Análisis de requerimientos.

El objetivo es encontrar y coleccionar toda la información requerida por toda la gama de usuarios los cuales se encuentran ubicados en diversos ambientes de la organización ²⁹. Cada uno de ellos producen sus propias especificaciones de requerimientos dentro de una área de aplicación para ser analizada posteriormente.

Recolección de requerimientos.

El procedimiento inicial de recolección de la información puede ser llevado la cabo a través de dos métodos:

- **Entrevistas y encuestas dirigidas.-** El proceso es hasta cierto punto informal, ocasionando con frecuencia ambigüedades en la información adquirida y problemas semánticos. Un objetivo primordial es encontrar la forma más natural y método dirigido por sintaxis, el cual permita extraer el mayor contenido semántico de la misma. En esta versión los usuarios exponen sus requerimientos de aplicaciones con mayor énfasis.
- **Fuente de documentos.-** Documentos de políticas y procedimientos, así como la estructura de la organización son los principales. El objetivo es extraer la información de entidades que participan en los órganos internos con sus funciones y eventos que pueden suceder para disparar acciones.

²⁹Un proceso que transforma información o un conjunto de entidades las cuales son las fundamentales en dichos ambientes, es lo que consideramos como una vista [3.6].

Los requerimientos, son especificados en:

Forma de requerimientos general.- En ella es necesario especificar el ambiente de la organización, la función y los usuarios que intervienen. De acuerdo a su función pueden ser clasificados en tres categorías generales de información:

- **Restricciones corporativas.-** Son las restricciones descritas como reglas de una organización, formuladas como políticas. Así también, las restricciones: temporales y espaciales, financieras y legales.
- **Requerimientos de procesamiento.-** Son las que describen la planeación, control y procedimientos de operación de los sistemas.
- **Requerimientos de información.-** Son los que describen las estructuras de datos, entidades, asociaciones y restricciones de integridad semántica de los objetos.

Para llevar al cabo el registro de requerimientos es necesario un método el cual se basa comúnmente en el llenado de formas que entrarán en un proceso de refinamiento en la etapa de análisis.

- **Forma de requerimientos de datos.-** En ella es necesario especificar los datos que determinan los atributos que a su vez intervienen en la conformación de las entidades del modelo de datos.
- **Forma de requerimientos de procesos.-** En ella intervienen todos los procesos que afectan los datos coleccionados mediante la forma anterior.
- **Formas de requerimientos de eventos.-** En ella intervienen todos los eventos que disparan procesos los cuales a su vez manejan datos.

Análisis de requerimientos.

La etapa del análisis de requerimientos consiste en la obtención de una especificación precisa de los requerimientos, a través de la transcripción o decodificación de la información en glosarios de: atributos, entidades, operaciones y eventos; en sus respectivos glosarios, para construir esquemas globales en cada uno de ambientes.

Sobre esta información es necesario aplicar filtros de ambigüedades y la partición del discurso en conjuntos de sentencias homogéneas, con el propósito de: reducir expresiones repetidas, obtener clases equivalentes de expresiones que son sinónimos y la introducción de substitutos apropiados.

- **Glosario de datos.-** En éste se plasma una descripción clara de las entidades y sus atributos, para encontrar las asociaciones que existen entre las distintas entidades.
- **Glosario de operaciones.-** Las sentencias de operaciones expresan el conocimiento para el desarrollo de los procedimientos. Estos actúan sobre los datos en aspectos como: modificación, transformación, o presentación de ellos. Además, se especifica la frecuencia que ocurre cada operación y la manera de cómo se realiza.
- **Glosario de eventos.-** Finalmente, las sentencias de eventos son expresados con condiciones que se satisfacen para efectuar ciertas operaciones. Las sentencias pueden incluir varios eventos, que determinan varias condiciones y diferentes operaciones que se ejecutan concurrentemente o alternativamente.

Diseño conceptual de la base de datos.

El modelo conceptual de datos.- A partir del análisis de los requerimientos se lleva al cabo la construcción de esquemas de datos, operaciones y eventos mediante un modelo conceptual. El objetivo es proceder hacia especificaciones formales de las diversas vistas del sistema. En él se describe la semántica de los datos y las propiedades dinámicas con su evolución de acuerdo a la ocurrencia de los eventos que se suceden en la vista (ver fig. 3.6.

El modelo gráfico entidad-asociación permite integrar las vistas en un diagrama completo para ver la base de datos en su conjunto.

1. Diseño conceptual de vistas.
2. Integración de vistas.
 - Análisis de conflictos.
 - Unión y análisis de redundancias.

Diseño conceptual de vistas.

El esquema de datos permite especificar formalmente la información relativa a un ambiente de la organización y el proceso es la creación de tantos esquemas de datos como vistas existan en la organización. El esquema de operaciones es un subconjunto de esquemas de datos que se requieren para realizar la operación referida. Existen tantos esquemas de

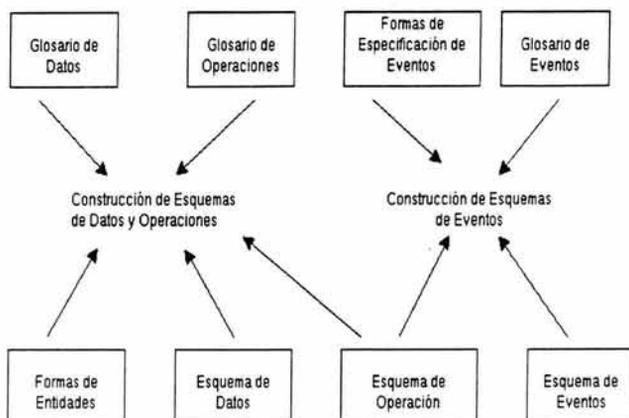


DIAGRAMA DE TAREAS EN LA FASE DE DISEÑO CONCEPTUAL DE LAS VISTAS

Figura 3.6: Vistas de la base de datos

éstos como operaciones en el ambiente, usando la misma especificación formal del modelo de datos.

Método gráfico entidad-asociación.

La metodología inicia con la definición de los objetos básicos requeridos llamados *entidades*³⁰. Cada entidad esta determinada por sus características conocidas como *atributos*. El agrupamiento de entidades comunes se convierte en un conjunto entidad el cual recibe un nombre determinado. Las entidades son representadas por cajas rectangulares, donde el mismo conjunto tiene características comunes. En este caso, el conjunto de atributos son conocidos como el tipo del conjunto entidad.

Los *vínculos o asociaciones* se dan entre las entidades. El agrupamiento de asociaciones relativas se vuelve un conjunto vínculo, el cual es representado por iconos que son diamantes. Se asume que los conjuntos de vínculos contienen asociaciones con la misma clase de entidades o componentes. La lista de componentes y las características de las asociaciones constituyen el tipo vínculo.

³⁰Una entidad es algún objeto del mundo real identificable el cual tiene información.

Integración de vistas

Esta etapa tiene como insumo todas las vistas conceptuales definidas independientemente durante la etapa anterior. Ahora, el objetivo es combinar en una vista única de la aplicación, todas ellas como se requieran.

Los diferentes enfoques que tienen los usuarios acerca de la aplicación y las diversas representaciones que son equivalentes, pasarán por un proceso complejo de integración de vistas, tomando en cuenta los esquemas de datos, operaciones y eventos según presentamos en la figura 3.7.

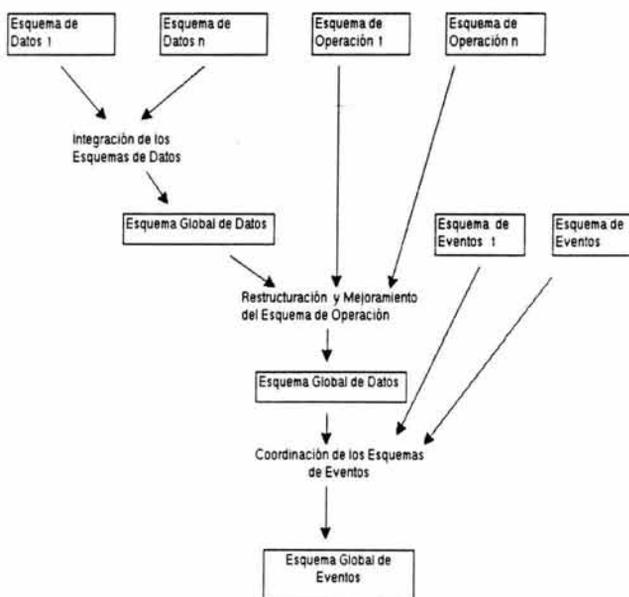


DIAGRAMA PARA LA INTEGRACION DEL ESQUEMA DE DATOS

Figura 3.7: Diagrama de tareas de la etapa de integración

Archivar independientemente los esquemas conceptuales, lógicos y físicos, con el objetivo primordial de tener independencia en base de datos. Crear una base de metadatos, con el objetivo de la creación de esquemas de análisis semántico de la información para sistemas de verificación automática de la integridad de los datos.

Diseño del modelo lógico-físico.

La metodología de desarrollo de los esquemas lógicos-físicos consiste en la conversión del

esquema global conceptual a un esquema lógico que será usado como entrada para la implantación de tablas de datos para un Sistema Manejador de Bases de Datos.

La traducción del esquema conceptual global al modelo lógico destino es un proceso de refinamiento el cual debe garantizar un diseño aceptable y óptimo. La entrada a esta etapa son el esquema global conceptual y los subesquemas de operación, con el objeto de llegar a los resultados siguientes:

1. **Simplificación del esquema conceptual.-**
2. **Refinamiento del esquema simplificado.-** La tarea de refinamiento consiste en reestructurar el esquema simplificado con el fin de obtener un nuevo esquema, con el objetivo de optimizar la ejecución de las operaciones más importantes y complejas:
 - Partición de entidades.
 - Replicación de atributos.
3. **Diseño físico de tablas relacional.-** Los esquemas relacionales sirven de entrada para generar los esquemas físicos y tablas de índices que se implementan en un sistema manejador de bases de datos como PostgreSQL³¹.

Diseño del módulo activo

En la definición de las políticas de la empresa existen una gran cantidad de reglas determinadas por condiciones las cuales son restricciones asociadas a diversos parámetros.

El desarrollo del módulo activo tienen por objetivo automatizar adecuadamente la administración del mantenimiento y tener una mejora continua del mismo, con dos etapas principales de desarrollo:

- Edición de reglas Evento-Condición-Acción (ECA).
- Almacenamiento de la base de reglas y biblioteca de triggers³².

El argumento principal usado para este nuevo modelo es la posibilidad de manejar el comportamiento de los datos con los aspectos activos y dinámicos de las bases de datos. Por su enfoque, los aspectos dinámicos pueden ser subdivididos en dos partes:

³¹PostgreSQL es el sistema servidor de base de datos de código abierto más avanzado [3.7].

³²Los triggers son procedimientos que se disparan automáticamente por eventos específicos. Las bases de datos de triggers proporciona una interface entre la ejecución del servidor SQL y facilidades de administración de eventos [3.8].

1. **Enfoque orientado a proceso.-** Este es relacionado al cambio de ambiente de una aplicación. El conjunto entero de la aplicación para la cual esta sujeta la base de datos puede considerarse como un ambiente de procesamiento con proceso conocido o actividades.
2. **Enfoque orientado a eventos.-** Este enfoque considera los diferentes tipos de eventos que ocurren en tiempo de ejecución durante el procesamiento de una base de datos, requiriendo de las acciones necesarias para imponer las restricciones de integridad. En este contexto, el sistema de reglas es útil para manejar la dinámica de los datos.

Diseño del ambiente Web.

La tecnología Intranet ³³ y las bases de datos han sido un binomio excelente y poderoso para distribuir y gestionar información en las empresas. Tiene grandes ventajas en redes de área amplia con sitios en diferentes lugares geográficamente y redes locales. La tecnología cliente-servidor, permite contener información en sitio de Web y una gran base de datos para la administración del mantenimiento.

El contenedor Web.

El punto importante en el diseño de la capa Web es la forma de estructurar la información en un conjunto de páginas. Es importante señalar dos aspectos como organizar y como navegar. Por lo tanto se tienen las siguientes consideraciones:

- El tipo de estructura para el tipo de información o contenido.
- La manera en que los lectores viajarán a través de los documentos.
- Cómo asegurarse que los lectores sepan en donde están y cómo regresar a una posición conocida.

Sistema electrónico de documentos

La tecnología de Web antes descrita ofrece grandes ventajas para el desarrollo de un sistema electrónico de documentos: políticas, procedimientos y manuales. En el proceso de diseño y desarrollo del SCAM, el contenedor y servidor de Web considera tres aspectos principales: el contenedor de información, la interfaz de usuario y el mapa del sitio Web.

³³La Intranet es una red privada de la empresa con el uso de la tecnología Internet como subyacente, y trabaja en un ambiente de computación heterogénea que permite intercambiar información [3.9],[3.10] y [3.11].

En el caso de la interfaz de usuario se tiene todo el ambiente visual que es el frente del sistema y, que debe de tener toda una serie de facilidades para que el usuario pueda acceder al SCAM de manera eficiente. La información almacenada de: manuales, políticas, procedimientos y formas, aparecen en el contenedor de Web. El mapa del sitio Web permite el acceso a las aplicaciones y gestión a la base de datos de mantenimiento, con mecanismos de acceso para: consultas, actualizaciones y procesos en la base de datos. La interfaz de usuario conecta con el servidor Web, para que se conecte con el servidor de base de datos, el cual resuelve aplicaciones en el lenguaje estandar SQL del manejador de base de datos.

1. **Formas electrónicas.**- La tecnología nos permite integrar formas electrónicas. En el contenedor de Web es posible mantener en línea: las políticas y los manuales de procedimiento. Es necesario que las formas electrónicas emulen las formas de papel, lo cual requiere un diseño gráfico adecuado. Entre los beneficios claves que podemos obtener con una administración electrónica de formas son:
 - a) Control eficiente en las revisiones.
 - b) Mejora las actividades con la base de datos.
 - c) Inclusión automática de omisiones.
 - d) Inclusión de ayudas automáticas.
 - e) Firmas digitales.
 - f) Señalamiento y marcado de datos.
2. **Manuales en línea.**- Un manual en línea no es más que una réplica de un manual, almacenado de manera electrónica y acceso de la misma forma. El método surge con la aparición de las redes locales (LAN) para la compartición de la información electrónica.

Las políticas de la compañía y manuales de procedimiento pueden ser puestos en línea en el contenedor de Web, con un diseño de ligas de hipertexto. Existen una serie de aspectos que son relevantes en la implementación de los manuales en línea.

 - a) Son electrónicos y pueden ser accedidos rápidamente.
 - b) Pueden ser actualizados de manera instantánea y distribuidos a través de la compañía de manera simultánea.
 - c) Para su mejor y fácil lectura, pueden accedidos por partes, reestructurados y accedidos por palabras claves.
 - d) Pueden ser accedidos a través de una serie de trayectorias por el mecanismo de hipertexto.
3. **La liga de las políticas y procedimientos con la Intranet.**- Una intranet Web ayuda a la automatización del proceso de negocios. Para

el caso del SCAM, el enfoque hacia la administración del mantenimiento resulta de gran interés para:

- a) La distribución y administración de documentos internos en la compañía.
- b) El retiro eficiente de la información.
- c) La selección particular de información.
- d) El acceso de información importante acerca de los recursos humanos.
- e) La elaboración y/o revisión de documentos mediante la colaboración de todo el grupo de trabajo de mantenimiento.
- f) La estandarización y mantenimiento de calidad según ISO 9000.
- g) El proceso continuo de actualización y mantenimiento de esquemas.

3.2.5. Validación de políticas.

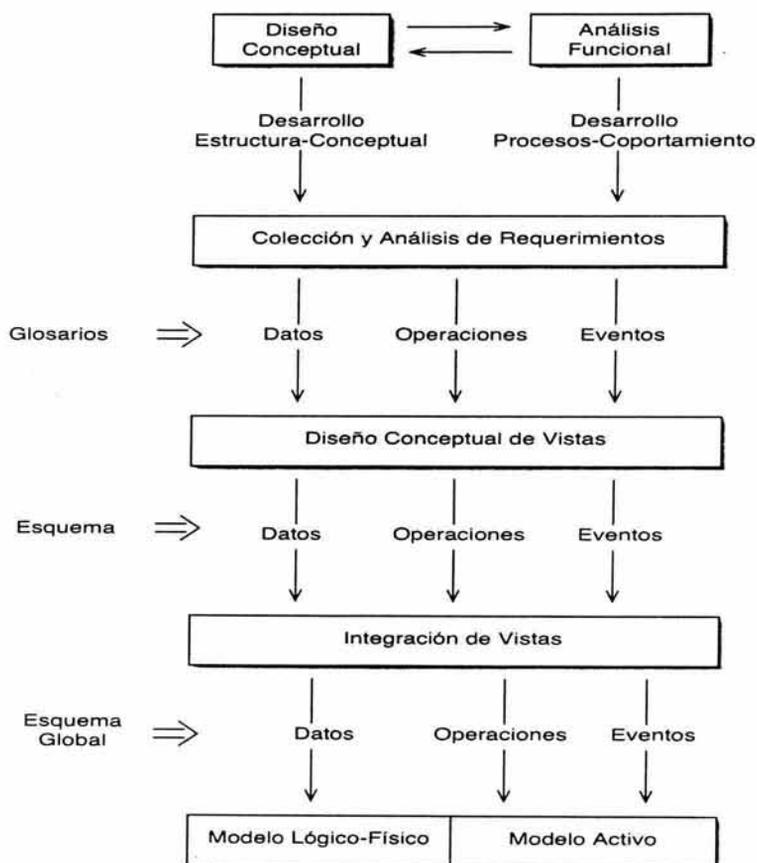


Figura 3.8: Panorama de la metodología en donde intervienen la implantación de las políticas

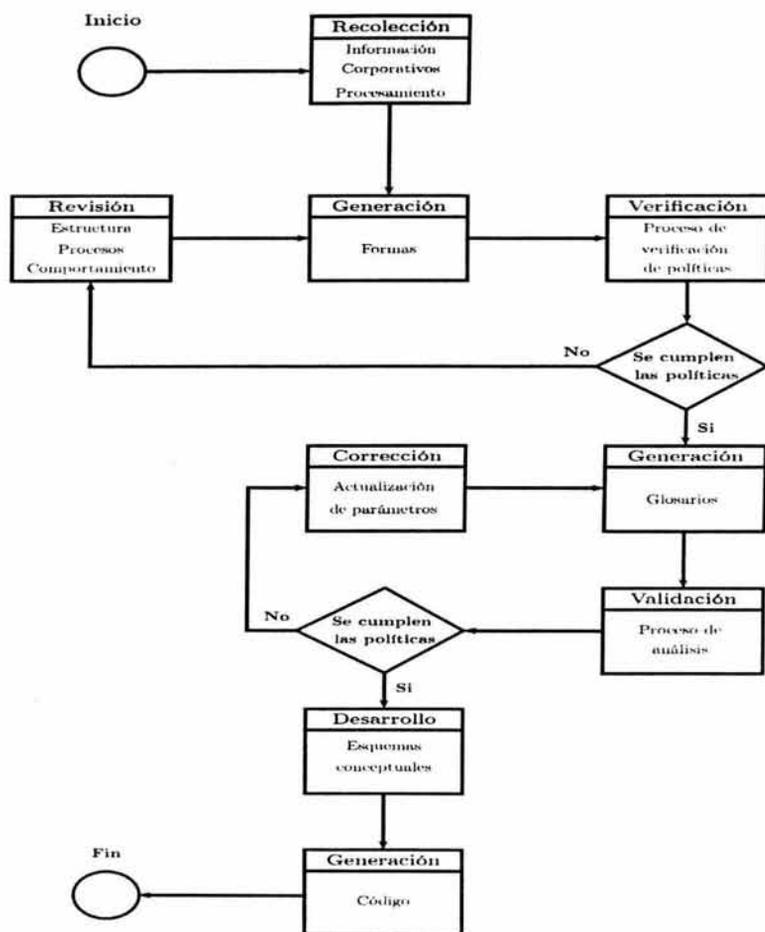


Figura 3.9: Diagrama de flujo para la validación de las políticas.

3.3. Evaluación de la propuesta

La evaluación de la presente propuesta está basada en los siguientes aspectos:

- Viabilidad en su implantación
- Funcionalidad
- Eficiencia
- Modernización del sistema de mantenimiento
- Planeación y una mejor toma de decisiones

Se considera **viable** la propuesta en su implantación porque no se requiere de inversiones de capital traducido en gasto por capacitación externa, compra de equipo y sistema de cómputo; al contrario, está pensado este proyecto como un sistema de mantenimiento el cual se implante con sus propios recursos, como son:

1. *físicos*: Las instalaciones (el área mecánica y la técnica), así como los equipos y sistemas de cómputo. El software que se requiere para el SCAM es de tipo abierto por lo que no genera costos por tecnología nueva.
2. *humanos*: Con el personal del área técnica (área de planeación y control, sección de cómputo) y el personal del área mecánica (técnicos en mecánica y supervisores de mantenimiento). La capacitación es interna y se imparte dentro del horario laboral. Se aprovecha al 100 por ciento los conocimientos y experiencia del personal.
3. *económicos*: Se cuenta con el presupuesto previamente dispuesto por la empresa.

Es *funcional* porque con el establecimiento de políticas y procedimientos se garantiza el cumplimiento de todas y cada una de las etapas del programa de mejora continua RCM.

Es *eficiente* porque maximiza beneficios tales como ³⁴:

1. Eliminación de fallas crónicas y problemas inherentes a la confiabilidad en un 70 por ciento.
2. Aporta bases de datos perfectamente documentadas para los programas de mantenimiento en un 100 por ciento.

³⁴Campbell J., Uptime, Productivity Press, p.,106, New York 1995.

3. Mejora el trabajo en equipo y la comunicación entre el personal involucrado en un 90 por ciento.
4. Reducción de los tiempos entre reparaciones mínimo en un 50 por ciento.
5. Aumento en el rendimiento de la unidad hasta en un 100 por ciento.
6. Períodos más largos entre reparaciones totales de al menos un 60 por ciento.

Y en términos de costos, minimiza:

1. Costos por almacenamiento de un 50 a un 100 por ciento.
2. Costos por reparaciones parciales de al menos un 70 por ciento.
3. Costos por reparaciones totales de al menos 50 por ciento o más.
4. Costos por revisiones en un 70 por ciento.

Modernización del sistema de mantenimiento. Con el SCAM se logra dejar atrás el sistema manual de seguimiento y de registro de las unidades, así como el del programa de mantenimiento correctivo, para dar paso a la automatización de los sistemas de mantenimiento centrados en la confiabilidad.

Planeación y una mejor toma de decisiones: El RCM es en sí mismo una planeación para el sistema de mantenimiento enfocado en la confiabilidad, y al establecer políticas específicas de mantenimiento se está dando una normatividad para facilitar la mejor toma de decisiones.

3.4. Escenarios

Los escenarios según Ged Davis³⁵, son relatos coherentes y creíbles acerca de futuros posibles, los cuales se basan del análisis de los antecedentes. Los escenarios pueden ayudar a crear conocimientos compartidos de posibles desarrollos, opciones y acciones, debido a que ellos utilizan múltiples perspectivas para explorar problemas.

Existen 4 enfoques básicos de construir escenarios según el tipo de problema que se tenga y de la aplicación que se requiera:

³⁵Davis Ged, Scenarios as a tool for 21 Century, p. 1.

- inductivo
- deductivo
- incremental
- normativo

En particular, se escogió el enfoque deductivo el cual consta de cuatro cuadrantes, cada uno de ellos representando un posible escenario, afectado por dos variables principales que son los ejes de la x y de la y respectivamente.

Por el tipo de problema, se plantearon tres horizontes de tiempo: año 2005, 2010 y 2015. Al primer escenario se le llamó *optimista*, al segundo *factible*, al tercero *pesimista* y por último al cuarto *el reto*.

Las variables principales son:

- eje x : mantenimiento (M)
- eje y : presupuesto (P)

Las variables secundarias son:

- tecnología de la información
- capacitación técnica-administrativa
- costos por mantenimiento

3.4.1. Definición de variables

- *mantenimiento*: Es la variable que indica el grado de servicio que se le puede dar a la UVC, desde un nivel más bajo como es el correctivo hasta un nivel más alto como es el de mejora continua RCM.

- *presupuesto*: Es la variable que indica la cantidad de recursos económicos asignados para el mantenimiento de la UVC.

- *tecnología de la información*: Es la variable que indica el tipo de tecnología usada en el manejo de la información propia del mantenimiento (formas de seguimiento individual de unidades y órdenes de trabajo).

- *capacitación técnica-administrativa*: Es la variable que representa el grado de entrenamiento técnico-administrativo que se da en el área de mantenimiento.

- *costos por mantenimiento*: Es la variable que indica el gasto que se realiza por aplicar el mantenimiento a las UVC.

3.4.2. Escala de medición de variables

<i>mantenimiento</i>	<i>escala de medición</i>
correctivo	40 %
preventivo	70 %
mejora continua	90 %

<i>Tecnología de la información</i>	<i>escala de medición</i>
manual	40 - 50 %
hoja de cálculo	55 - 70 %
sistema computarizado	75 - 90 %

<i>capacitación técnica-administrativa</i>	<i>escala de medición</i>
nula	0 - 40 %
escasa	50 - 60 %
continua	65 - 90 %

<i>costos por mantenimiento</i>	<i>escala de medición</i>
bajo	80 - 70 %
medio	60 - 40 %
alto	35 - 0 %

3.4.3. Escenarios para los años 2005, 2010 y 2015

Escenarios para el año 2005

	+P		
	<i>Factible</i>		<i>Optimista</i>
	Tecnología de la información 70 % Capacitación Téc-Adm 60 % Costo p/mantenimiento 40 % Porcentaje por escenario 28 %		Tecnología de la información 75 % Capacitación Téc-Adm 60 % Costo p/mantenimiento 50 % Porcentaje por escenario 31 %
-M			+M
	<i>Pesimista</i>		<i>El reto</i>
	Tecnología de la información 40 % Capacitación Téc-Adm 35 % Costo p/mantenimiento 15 % Porcentaje por escenario 15 %		Tecnología de la información 60 % Capacitación Téc-Adm 50 % Costo p/mantenimiento 40 % Porcentaje por escenario 25 %
	-P		

Descripción de escenarios para el 2005

Para que se presente este escenario, deben darse al menos las siguientes condiciones ambientales: que exista una buena disposición al cambio por parte del personal involucrado y cooperación entre el área técnica y la mecánica

- *Optimista:* El programa de RCM está en la fase inicial de arranque, la capacitación técnica-administrativa tiene una tendencia de llegar a ser continua, el sistema de información es computarizado, sin embargo, todavía no está trabajando a toda su capacidad. Los costos han tenido una disminución considerable.
- *Factible:* Se está aplicando un mantenimiento preventivo, lo que trae como resultado una pequeña reducción en costos. Existe una mejora en el manejo de información más no está computarizado. La capacitación técnica-administrativa tiene tendencia a llegar a ser continua debido a que existe el presupuesto para invertirlo en esos rubros.

- *Pesimista*: Se continúa realizando mantenimiento correctivo a la UVC, lo que genera una elevación de costos muy significativo. Al no haber presupuesto suficiente, no se invierte ni en capacitación ni en tecnología. Las formas de registro individuales siguen llenándose manualmente.
- *El reto*: Se aplica mantenimiento preventivo, se usan hojas de cálculo para llevar los registros individuales y al no haber suficiente presupuesto, la capacitación tiende a ser sacrificada.

Escenarios para el año 2010

		+P				
		<i>Factible</i>		<i>Optimista</i>		
		Tecnología de la información 80 % Capacitación Téc-Adm 70 % Costo p/mantenimiento 60 % Porcentaje por escenario 28 %		Tecnología de la información 85 % Capacitación Téc-Adm 80 % Costo p/mantenimiento 70 % Porcentaje por escenario 32 %		
-M		<i>Pesimista</i>		<i>El reto</i>	+M	
		Tecnología de la información 50 % Capacitación Téc-Adm 50 % Costo p/mantenimiento 30 % Porcentaje por escenario 17 %		Tecnología de la información 70 % Capacitación Téc-Adm 60 % Costo p/mantenimiento 60 % Porcentaje por escenario 22 %		
		-P				

Descripción de Escenarios para el 2010

Para el año 2010 ya transcurrió el intervalo de 3 a 5 años que el programa de RCM requiere para mostrar todas las bondades, por lo que las condiciones ambientales sufren transformaciones favorables; es decir, existe una adaptación positiva al cambio y la participación interpersonal técnico-mecánico es real.

- *optimista*: El programa de RCM está trabajando a un nivel muy aceptable, ya se cuenta con una capacitación continua y ahora se comienza a ver una franca reducción de costos. El sistema de información computarizado está siendo mejor aprovechado.

- *Factible*: Se logra llegar al programa de RCM, está en una primera fase en la que todavía no se refleja una reducción considerable de los costos. Se está usando ya el sistema computarizado de información y la capacitación ha pasado a ser continua pero aún no tiene el nivel deseado.
- *Pesimista*: Se toman sólo algunas técnicas del mantenimiento preventivo sin llevarse este al cabo. El mantenimiento correctivo sigue predominando. Se manejan hojas de cálculo como tecnología de información y la capacitación sigue siendo escasa.
- *El reto*: Se comienza a aplicar el programa de RCM aunque en su fase inicial. Hay una tendencia a cambiar de hojas de cálculo por el sistema computarizado de información, al igual que en la capacitación, de la escasa hacia la continua; pero este desarrollo se ve frenado por el presupuesto insuficiente.

Escenarios para el 2015

		+P	
	<i>Factible</i>		<i>Optimista</i>
	Tecnología de la información 85 % Capacitación Téc-Adm 80 % Costo p/mantenimiento 70 % Porcentaje por escenario 29 %		Tecnología de la información 90 % Capacitación Téc-Adm 85 % Costo p/mantenimiento 75 % Porcentaje por escenario 31 %
-M			+M
	<i>Pesimista</i>		<i>El reto</i>
	Tecnología de la información 50 % Capacitación Téc-Adm 50 % Costo p/mantenimiento 15 % Porcentaje por escenario 14 %		Tecnología de la información 75 % Capacitación Téc-Adm 65 % Costo p/mantenimiento 65 % Porcentaje por escenario 25 %
		-P	

Descripción de Escenarios para el 2015

Si las condiciones ambientales siguen con la misma tendencia favorable, es decir: El personal mantiene una actitud entusiasta y positiva al cambio y de igual manera, se forma un equipo de trabajo técnico-mecánico los siguientes escenarios se presentan así:

- *Optimista*: El programa de RCM ha venido trabajando exitosamente, se ha alcanzado un aprovechamiento en el sistema computarizado de información y los costos por mantenimiento han disminuido significativamente. Se ha llegado al tope máximo de la mejora continua.
- *Factible*: Con un mayor presupuesto se ha podido trabajar con el programa de RCM y aunque no está en su límite máximo, se ha podido disminuir costos. Se tiene una capacitación continua y el sistema computarizado ha sido muy bien aprovechado.
- *Pesimista*: El mantenimiento es correctivo, los costos aumentan considerablemente, la capacitación técnica-administrativa no mejora y no hay avance en el manejo de la información.
- *El reto*: Se cuenta con el sistema computarizado de información aunque no explotado a toda su capacidad, la capacitación técnica-administrativa es continua y los costos por mantenimiento se encuentran en un nivel medio.

3.4.4. Estudio de los escenarios

Escenario *Optimista*: 2005,2010 y 2015

Una vez implementado el programa de mejora continua RCM, a lo largo de los años se van logrando la maximización del rendimiento de la UVC y por consecuencia la disminución de costos por mantenimiento. Se logra un aprovechamiento del sistema computarizado de información y la capacitación técnica-administrativa alcanza la continuidad.

Para el año 2015 el programa de RCM ha llegado a un nivel en el que el mismo sistema sugiere avanzar a un nivel de mantenimiento más elevado: **la reingeniería**.

Es el momento de pasar de la *eficiencia* a la *excelencia* a través de la ingeniería. ¿Porqué? En primer lugar han transcurrido 15 años, tiempo recomendable para renovar los equipos más antiguos; en segundo lugar, el sistema computarizado requiere ser adaptado a las nuevas necesidades y por último: Se ha llegado al tope máximo de la mejora continua; es decir, tiempo del cambio.

Existe una frase que engloba mejor el concepto anterior:

“Cuando te diriges hacia la perfección, descubres que ésta, es un objetivo en movimiento”.
George Fisher

Escenario *Factible*: 2005,2010 y 2015.

El desarrollo del proceso del mantenimiento es más lento pero sostenido. Se van cumpliendo las metas consistentemente para llegar al 2015 finalmente al programa de RCM, con una buena capacitación continua y un buen manejo del sistema computarizado de la información.

Sin embargo, como el presupuesto no es una restricción, es posible acelerar ese proceso y quizá, porqué no: ¿Cómo?, con **planeación**. ¿Porqué a través de la planeación?. Porqué la planeación como instrumento, se convierte en un factor gradual del cambio para afectar el presente y comprometer el futuro.³⁶

Escenario *Pesimista*: 2005, 2010 y 2015.

Durante estos años se ha seguido aplicando el mantenimiento correctivo, los costos cada vez son más altos. Por la restricción del presupuesto se han sacrificado la capacitación técnica-administrativa y la tecnología de información.

Al no contar con recursos económicos, no se tienen piezas de repuesto que puedan reemplazar a las UVC que presentan fallas, por lo que ahora se está sufriendo paros en los equipos; situación que agrava el estado financiero de la empresa y el servicio a pasajeros.

Escenario *El reto*: 2005, 2010 y 2015.

Este escenario también podría llamarse “Hacer más con menos”. Es muy común encontrarse en este caso, en el que las metas deben ser alcanzadas con presupuesto restringido. Existen dos formas muy distintas de enfocar lo anterior:

1. Verlo como un problema, como una limitante o,
2. verlo como un *reto*: una oportunidad más para hechar andar una cualidad que todo ser humano nace con ella pero pocos se atreven a sacarla y menos aún adesarrollarla: *la creatividad*.³⁸

³⁶Miklos Tomás, Teoría Política, p. 10, Editorial FCE, 2000.

³⁸Ackoff Russell, Cápsulas de Ackoff, pgs. 174,175, Edit. Limusa 2002 Ackoff Russell, El arte de resolver problemas, pgs. 15 y16, edit. Limusa, 2003.

A lo largo de estos tres horizontes de tiempo se ha logrado la transición del mantenimiento preventivo al programa de RCM. Los costos todavía no registran la disminución deseada sin embargo, han podido reducirse de un nivel alto a un nivel medio.

La capacitación técnica-administrativa ha llegado a la continuidad. Por otra parte, aunque el sistema computarizado de información no ha sido explotado en su totalidad, hay una tendencia a lograrlo e irlo adaptando según vayan creciendo las necesidades del mantenimiento; ya que por ser un sistema de software abierto, no requiere de grandes recursos económicos sino de recurso humano. Se contempla la creación de un vínculo entre la universidad y la empresa privada en donde las dos partes resulten favorecidas: La empresa con el servicio, la universidad económicamente y los estudiantes con la oportunidad de trabajar con problemas reales y no sólo con ejercicios dentro del aula ³⁹.

El siguiente *reto* de este escenario será llegar a una reingeniería antes del año 2020.

Escenarios por alcanzar

De los tres horizontes temporales que se manejaron anteriormente: 2005, 2010 y 2015, con sus respectivos escenarios, se eligieron tres escenarios que se consideraron como los más favorables y a los que se pretende llegar. Estos escenarios pueden considerarse como una conclusión de los tres anteriores.

³⁹Ackoff Russell, El arte de resolver problemas, pp. 15 y16, Edit. Limusa, 2003.

	+P		
-M	<p><i>Factible año 2010</i></p> <p>Tecnología de la información 80 % Capacitación Téc-Adm 70 % Costo p/mantenimiento 60 % Porcentaje por escenario 34 %</p>	<p><i>Optimista año 2015</i></p> <p>Tecnología de la información 90 % Capacitación Téc-Adm 85 % Costo p/mantenimiento 75 % Porcentaje por escenario 40 %</p>	+M
		<p><i>El reto año 2005</i></p> <p>Tecnología de la información 60 % Capacitación Téc.-Adm. 50 % Costo p/mantenimiento 40 % Porcentaje por escenario 24 %</p>	
		-P	

Descripción de escenarios por alcanzar

- El reto año 2005: En este año se comienza la implementación del programa de RCM, sin embargo los resultados se verán a partir de unos tres años aproximadamente. Actualmente ya no se está dando mantenimiento correctivo, sino preventivo como una fase preparatoria para la implantación del RCM.
- Factible año 2010: Para estas fechas ya está funcionando a toda su capacidad el programa de mantenimiento RCM. La capacitación ha sido exitosa y la tecnología de la información es totalmente automatizada y está cumpliendo con las necesidades de la empresa. Los costos han sido reducidos y la mejora continua está siendo bien aplicada.
- Optimista año 2015: Este es el momento de dejar atrás los programas de mejora continua para dar paso a la reingeniería. El cambio en la flota para modernizarse y la demanda creciente de la aviación como transporte masivo invita a dar un salto de nivel de mantenimiento dirigido a la reingeniería. Por otra parte, la ventaja de tener un sistema de información de tipo abierto y flexible ha facilitado su desarrollo de acuerdo a las necesidades del área de mantenimiento y la reducción de costos ya que se ha evitado invertir grandes sumas de dinero en paquetes de mantenimiento automatizados de tipo comercial los cuales la mayoría de las ocasiones resultan subutilizados.

3.5. Conclusiones

Con las políticas técnicas establecidas en el apartado 3.1.1 las UVC se asegura la clasificación y el manejo adecuado de las unidades ya sean nuevas o usadas, el cambio de tipo de mantenimiento (de correctivo a mantenimiento preventivo de mejora continua) y un mejor desempeño de las unidades de al menos un 70 por ciento así como la disminución de costos por mantenimiento de al menos un 50 por ciento.

Complementándose con las políticas técnicas, las políticas administrativas (apartado 3.1.2) vuelven al seguimiento de las UVC más preciso y disminuyen la ambigüedad en los registros. Brindan control tanto del personal responsable del área técnica como de la mecánica.

Del planteamiento del apartado 3.2 se puede observar que en el proceso de diseño de un Sistema Computarizado para la Administración del Mantenimiento es necesario lo siguiente:

1. **Análisis funcional de la estructura organizacional.** Descripción de la estructura de la organización. Considerando la relación funcional entre los órganos o actores que intervienen en proceso de mantenimiento.
2. **Recolección y análisis de requerimientos.** Obtención de la mayor cantidad de requerimientos del usuario para resolver un amplio número de problemas. Así como, la recopilación del significado del atributo (semántica) para la incorporación de reglas de integridad de la base.
3. **Diseño conceptual.** Un diseño conceptual que permita la flexibilidad de implementación. El diseño conceptual incluye el modelo de datos, operaciones y eventos.
4. **Desarrollo del sistema.** El desarrollo incluye nuevas tecnologías y un enfoque de software abierto. En principio, la consideración del modelo RCM va de acuerdo con una tecnología actual del modelo activo de base de datos, considerado con el sistema de reglas Evento- Condición-Acción (ECA). El segundo punto, es la consideración de una tecnología abierta en contraste de una sistema cerrado y comprado que tiene un alto costo y pocas posibilidades de adaptación y cambios.

En un estudio comparativo se puede deducir que las ventajas que se tiene con la propuesta del SCAM con las que se tiene en el mercado son de costos y la posibilidad de tener un sistema a la medida.

- *Chief 2000 by Maintenance Automation*, con una plataforma para PC-LAN, con un costo aproximadamente de 12,000 dolares, por lo básico.

- *Maximo Series 3*, con una plataforma PC-LAN y Windows, con un costo aproximadamente de 30,000 dolares, dependiendo de las opciones.
- *OOPS!* Un paquete que se maneja por un menú bajo conducción y corre en PC con uno de los más bajos costos 3,500 dolares.
- *COMPASS*, el sistema corre en un mainframe IBM, enfoque a la administración de mantenimiento, con un costo de 100,000 dolares.

La descripción según los anteriores sistemas de mantenimiento en venta, demuestra la ventajas que se tienen con los planteamiento que se tiene en este capítulo. El modelo ofrece un abanico de opciones de gran flexibilidad para modelar sistemas físicos complejos típicos de datos de ingeniería. En particular, plantas industriales (petroquímicas, plantas nucleoelectricas) y equipo de aeronáutica; los cuales requieren soportar la simulación de los sistemas, así como, la confiabilidad y seguridad de los sistemas.

De la evaluación de la presente propuesta, como se cita en el apartado 3.3 se concluye que sí es posible llevarla al acabo debido a que esta se sustenta en los recursos físicos, humanos y económicos con los que ya cuenta la empresa; y para terminar, el software que se propone para el SCAM es totalmente abierto.

Los escenarios, como se cita en el apartado 3.4, resultan ser una herramienta muy útil para plantear alternativas futuras y posibles de una acción, opción o desarrollo partiendo de la pregunta: Que sucedería si? Son excelentes ejercicios para ampliar la visión y brindan la oportunidad de prepararse para posibles cambios futuros. En el caso particular de la UVC, si las condiciones ambientales son favorables, habrá para entonces una renovación en la flota, una demanda creciente por parte de los clientes; lo que motivará un cambio en el programa de mantenimiento: el paso de la mejora continua al de la ingeniería. El sistema de información automatizado gracias a que es abierto y flexible se ha ido modificando según las necesidades del mantenimiento; esto ha favorecido a combatir costos por compra de paquetes, que terminan siendo subutilizados.

Referencias

- [3.1] Stephen B. Page, *Establishing a System of Policies and Prodedures*. Process Improvement Publishing, 1998.
- [3.2] Kees Van Der Heijden, *Escenarios: El arte de prevenir el futuro.*, Panorama, John Wiley & Sons Ltd. 1998.
- [3.3] John Dixon Cambel. *UpTime: Strategies for Excellence in Maintenance Management*, Productivity Press. New York 1995
- [3.4] Elliotte Rusty Harold y W. Scott Means. *XML IN A NUTSHELL A Desktop Quick Reference*, O'Reilly & Associates, Inc. Enero 2001.
- [3.5] Greg Riccardi *Principles of DATABASE SYSTEMS with Internet and Java Applications*. Addison Wesley New York 2001.
- [3.6] Carlo Batini, Stefano Ceri, y Shamkant B. Navathe. *Conceptual Database Design An Entity-Relationship Approach* The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. Redwood California 1992.
- [3.7] Bruce Momjian. *PostgreSQL Introduction and Concepts* Addison-Wesley 2001.
- [3.8] Stephen G. Schur *The Database Factory Active Database for Enterprise Computing*, Wiley Professional Computing. New York 1994.
- [3.9] J. Nielsen *Designing Excellent Websites: Secrets of an Information Architect*. New Riders Publishing, Indianapolis 1999.
- [3.10] Aaron Marcus Review: "Graphic Design for Electronic Documents and User Interfaces," *Science of Computer Programming* **18**, 2 1992.
- [3.11] J. Nielsen *Usability Engineering* Academic Press, Boston 1993.

Conclusiones Generales

Muchas veces la palabra *mantenimiento* es recibida negativamente, es asociada sólo a "gasto". En la mayoría de las empresas el mantenimiento es entendido como una función necesaria de reparación ante la presencia de fallas en sus equipos y/o instalaciones. No obstante, se dedica muy poco tiempo y esfuerzo en tratar de controlar las actividades propias del mantenimiento y sus respectivos costos.

Mientras que en el pasado, como se aprecia en el capítulo 1, el mantenimiento no figuraba como una de las prioridades para las empresas; actualmente para la mayoría de éstas, se ha vuelto una necesidad centrar su atención en el mantenimiento y en los costos que éste genera debido a la complejidad tecnológica con lo que están diseñados por lo general, los equipos y/o instalaciones industriales.

En particular, para la industria aérea, el mantenimiento de sus equipos se ha vuelto uno de sus grandes retos a vencer; no nada más por la complejidad tecnológica de la que se hace mención en el párrafo anterior, sino también por los efectos que se están sufriendo por:

- La globalización.
- La recesión económica mundial.
- El terrorismo, que ha obligado a las empresas a invertir en medidas de seguridad, incrementando con esto, sus costos de operación y los relacionados a las primas de los seguros.

Para la compañía aérea "X" en la cual se basó el presente trabajo, el mantenimiento de sus aeronaves está dirigido hacia la confiabilidad y seguridad, sin embargo todavía existen componentes del avión que, como no comprometen dicha seguridad de los pasajeros, se les sigue aplicando el mantenimiento correctivo. Tal es el caso de la UVC, cuyos costos por dicho mantenimiento han llegado a ser desde una tercera parte hasta la mitad de su valor comercial.

Por medio de la exploración y análisis estadístico realizado en el capítulo 2 a la información contenida en las formas de registro individual de UVC en los DC-9 (proporcionadas por la empresa), se detectaron ciertas anomalías que contribuyen junto al mantenimiento correctivo a elevar tanto los costos por mantenimiento:

- La aplicación de políticas de mantenimiento propias de unidades nuevas a UVC usadas, que por su propia condición, éstas nunca llegan a cumplir con dichas normas.
- Las UVC en general, reportaron un bajo rendimiento. Si se considera un óptimo desempeño el 100 por ciento, las unidades están alcanzando apenas el 45 por ciento.
- El bajo rendimiento(59 por ciento) de las unidades nuevas en comparación con las usadas.
- El tiempo excesivo que las unidades se encuentran en el almacén posterior a reparaciones realizadas en el extranjero. De su tiempo total de vida de las unidades usadas, aproximadamente la mitad de éste han estado paradas, mientras que en las nuevas es casi el mismo tiempo de vida que el que están fuera de servicio.
- Las constantes remociones que se les aplican a las unidades nuevas y usadas cuando ni siquiera cumplen con un ciclo de vida, la mayoría de las UVC tuvieron al menos 7 remociones.

Ahora bien, en cuanto a las formas de registro individual de unidades se detectaron los siguientes puntos a considerar:

- El llenado de éstas es completamente manual y la información es extraída de las órdenes de trabajo.
- No se sabe quien fue el responsable de llenar las formas de registro.
- La falta de uniformidad de criterio para apuntar los datos en las hojas de registro.
- Omisión de datos.
- Información incompleta. No se anota el número de órdenes de trabajo.
- No está contemplado en las formas si las unidades son nuevas o usadas, el tipo de falla reportada, fecha de revisión y/o reparación, tiempo medio entre fallas, tiempo medio de reparación, causa de falla, tipo de reparación, la acción correctiva que se llevó al cabo, la esperanza de vida de la unidad, entre otras.

Desafortunadamente por todo lo anterior, no fue posible realizar:

- El análisis de falla de la UVC.
- El análisis costo-beneficio de la presente propuesta.
- El cálculo del tiempo fuera de servicio de las UVC por revisión y/o reparación.

El mantenimiento correctivo puede ser una buena elección cuando el componente cuenta con un diseño simple y el costo por reparación sea muy bajo, la UVC en cambio, por su estructura compleja y por su interrelación con otros componentes requiere de un programa de mantenimiento cuya meta no sea sólo un mantenimiento preventivo, el cual resulte eficaz; sino un proceso de mejora continua como es el programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad "RCM", que tienda a la eficiencia.

El programa RCM es usado para determinar lo que debe ser realizado para asegurar que cualquier recurso físico o sistema continúe prestando el servicio que sus usuarios esperan de él. Su finalidad es la de ayudar a las personas que toman decisiones a determinar las mejores políticas de mantenimiento para mejorar las funciones de los sistemas y/o componentes y para manejar las consecuencias de sus fallas.

Pero para que el programa de mantenimiento RCM cumpla con las expectativas, el departamento de planeación y control de la compañía, debe asegurarse de llevar un mejor control en el seguimiento individual de unidades, el cual contemple toda la información necesaria de forma clara y expedita.

Con la implementación de las políticas de mantenimiento para la UVC y el sistema computarizado para la administración del mantenimiento (SCAM) que se propone en el capítulo 3, se logra además de: un mayor rendimiento de la UVC en un 100 por ciento, reducción de costos en al menos un 50 por ciento, reducción de tiempo fuera de servicio, un seguimiento individual de las unidades más completo y con mejores controles (a un 100 por ciento) entre otros puntos; la posibilidad de evaluar la función costo-beneficio y de redefinir políticas de mantenimiento que conlleven a una mejora continua cada vez que sea necesario, con el objeto de alcanzar la eficiencia que se busca día a día.

Con la implementación de las políticas de mantenimiento para la UVC y el sistema computarizado para la administración del mantenimiento (SCAM) que se propone en el capítulo 3, se logra además de: un mayor rendimiento de la UVC en un 100 por ciento, reducción de costos en al menos un 50 por ciento, reducción de tiempo fuera de servicio, un seguimiento individual de las unidades más completo y con mejores controles (a un 100 por ciento) entre otros puntos; la posibilidad de evaluar la función costo-beneficio y de

redefinir políticas de mantenimiento que conlleven a una mejora continua cada vez que sea necesario, con el objeto de alcanzar la eficiencia que se busca día a día. Cumpliendo con esto, según el enfoque de la planeación interactiva los principios: prospectivo, participativo, de continuidad, sistémico y holístico.

Además, se estaría preparando el camino para afrontar un cambio más: el paso de la etapa de mejora continua a la reingeniería, como se trató en el apartado correspondiente a los escenarios propuestos. Esta es la tendencia que se espera lleve el mantenimiento en los próximos 15 años debido al incremento en la automatización de los equipos, la globalización y la presión constante de la competencia tecnológica.

Bibliografía

[Aaron1992]

Aaron Marcus *Review: Graphic Design for Electronic Documents and User Interfaces*, Science of Computer Programming **18**, 2 1992.

[Ackoff2003a]

Ackoff, Russell. *Planificación de la empresa del futuro* Editorial Limusa, 17 reimpresión, México, 2003.

[Ackoff2003b]

Ackoff, Russell. *El arte de resolver problemas* Editorial Limusa, 20 reimpresión, México, 2003.

[Arsenault1980]

Arsenault J.E, Roberts J.A *Reliability and maintainability of electronical systems* Computer Science Press, 1980

[Baker1997]

Baker, Richard H. *Extranets: The Complete Sourcebook*. New York. NY.: McGraw-Hall, 1997

[Barlow1974]

Barlow, R.E. y Prochan, F. *Statistical Theory of Reliability and Life Testing* Holt, Reinhart and Winston, 1974

[Barlow1975]

Barlow, Richard E., Jerry B. Fussell y Nozer D. Sinpurwalla *Reliability and Fault Tree Analysis*, Society for Industrial and Applied Mathematics, 1975.

[Barnett1988]

Barnett, Robert. *Managing Business Forms*. Canberra, Australia: Communication Research Institute of Australian, Incorporated, 1988.

- [Batini1992]
 Batini, Carlo, Stefano Ceri, y Shamkant B. Navathe. *Conceptual Database Design An Entity-Relationship Approach* The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. Redwood California 1992.
- [Bazovsky1961]
 Bazovsky Igor. *Reliability Theory and Practice* Prentice Hall Space Technology series, 1961.
- [Birkhoff1953]
 Birkhoff, G. y S. MacLane. *A Survey of Modern Algebra*. Rev. ed. New York: The Macmillan Co., 1953.
- [Box1970]
 Box, G. E. P. y G. M. Jenkins. *Time Series Analysis, Forecasting and Control.*, Holden-Day, Inc., San Francisco, 1970.
- [Burdick1976]
 Burdick, G. R., N. H. Marshall, y J. R. Wilson, COMCAN- A Computer Program for Common Cause Analysis, ANCR-1314, 1976.
- [Cate1977]
 Cate, C. L. y J. B. Fussell, BACFIRE- A Computer Program for Common Cause Failure Analysis, The University of Tennessee, NERS-77-02, 1977.
- [Campbell1997]
 Campbell John *Uptime Strategies for Excellence in Maintenance Management* Productivity Press inc., 1997.
- [Fox1988]
 Fox, William M. *Effective Group Problem Solving*. San Francisco, CA: Jossey-Bass Publishers, 1988.
- [Fussell1977]
 Fussell, J. B. y G. R. Burdick. *Nuclear Systems Reliability and Risk Assessment*. Society for Industrial and Applied Mathematics, 1977.
- [Guttman1971]
 Guttman, I., Wilks S. y Hunter J. *-Introductory Engineering Statics* John Wiley and Sons, second edition, 1971.
- [Hackos1997]
 Hackos, Joann T. y Stevens, Dawn M. *Standars for Online Communications*. New York, NY.: John Wiley & Sons, Inc., 1997.

- [Hammer1993]
Hammer, Michael y James Champy. *Reengineering the Corporation*. New York, NY: Harper Business, 1993.
- [Harrison1965]
Harrison, Michael A., *Introduccion to Switching and Automata Theory*, McGraw-Hill Book Company, 1965.
- [Horton1990]
Horton, William K. *Designing & Writing Online Documentation*. New York NY: John Wiley & Sons, Inc., 1990.
- [Mann1974]
Mann, N. R., R. E. Schafer y N. D. Singpurwalla, *Methods for Statistical Analysis of Reliability and Life Data*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1974.
- [McNair1992]
McNair, D. J. y K. H. J. Liebfried. *Benchmarking: A Tool for Continous Improvement*. New York: Harper Business, 1992.
- [Momjian2001]
Momjian, Brunce. *PostgreSQL Introduction and Concepts* Addison-Wesley 2001.
- [Moubray1991]
Moubray, J. M. *Reliability-Centred Maintenance*. Oxford, U.K.: Butterworth Heine-
mann, 1991.
- [Nielsen1999]
Nielsen, J. *Designing Excellent Websites: Secrets of an Information Architect*. New
Riders Publishing, Indianapolis 1999.
- [Nielsen1999]
Nielsen, J. *Usability Engineering* Academic Press, Boston 1993.
- [Page2001]
Page, B. Stephen *7 Steps to Better Written Policies and Procedures* Process Improve-
mente Publishing, 2001.
- [Page2002]
Page, B. Stephen *Establishing a System of Policies and Procedures* Process Improve-
mente Publishing fifth edition, 2002.
- [Riccardi2001]
Riccardi, Greg. *Principles of DATABASE SYSTEMS with Internet and Java Appli-
cations*. Addison Wesley New York 2001.

[Rusty2001]

Rusty, Elliotte Harold y W. Scott Means. *XML IN A NUTSHELL A Desktop Quick Reference*, O'Reilly & Associates, Inc. Enero 2001.

[Schur1994]

Schur, Stephen G. *The Database Factory Active Database for Enterprise Computing*, Wiley Professional Computing. New York 1994.

[Stone1973]

Stone Harold S. *Discrete Mathematical Structures and their Applications*, Science Research Associates Inc., 1973.

[Van-der-Heijden1998]

Van Der Heijden, Kees. *Escenarios: El arte de prevenir el futuro.*, Panorama, John Wiley & Sons Ltd. 1998.

[Vesely1970]

Vesely, W.E. y R. E. Narum, *PREP and KITT: Computer Codes for Automatic Evaluation of a Fault Tree*, IN-1349, 1970.

[Wireman1986]

Wireman, Terry. *Computerized Maintenance Management Systems*. New York: Industrial Press, 1986.

[Wireman1990]

Wireman, Terry. *World Class Maintenance Management* Industrial Press, 1990.

[Wireman1998]

Wireman, Terry. *Developing Performance Indicators for Managing Maintenance*, Industrial Press, 1998.

Apéndice: Base de Datos.

# serie	T. T. vida	T.P. en nave	#remociones	# r/p USA	#rev/mex
2662	9810	981	10	2	7
2663	14412	2058.85	6	2	4
2511	18849	2356.12	7	1	5
2005	33094	6618.8	5	3	1
1983	23020	3288.57	8	1	6
1982	23471	4694.2	6	5	1
2560	14128	1412.8	10	2	7
2756	11181	1597.2	7	2	5
1741	14406	2401	6	1	4
1711	31754	5292.33	6	2	3
1220	39173	5596.14	7	2	3
1151	35171	3517.1	10	1	8
1980	35213	3912.5	9	2	6
2731	5895	1473.75	4	2	1
2779	10493	1748.8	6	1	4
2755	9910	1101.1	9	4	5
2565	12666	1809.42	7	2	4
2537	15091	1676.77	9	4	4
2722	13201	1885.85	7	6	1
2773-n	12406	1772.285	7	0	6
2513-n	12375	1546.93	8	1	7
2510-n	17376	1336.61	13	1	11
2678-n	16598	2766.3	6	2	4
2653-n	10590	1765	7	4	3
2734-n	4754	792.33	6	1	5
prom gral	17801.48	2536.0702	7.44	2.16	4.6
Des.Es. Gral	9767.2603	1564.38987	1.95959179	1.43410832	2.39791576
sum p+d	27568.7403	4100.46007	9.39959179	3.59410832	6.99791576
resta p-d	8034.2197	971.680333	5.48040821	0.72589168	2.20208424
moda			6	2	4

#hrs/h revm	# OH	costo r/p usa	costo OH	costo revmx	cos rp y OH
98	1	21000	19500	343	40500
56	0	21000	0	196	21000
70	1	10500	19500	245	30000
14	1	31500	19500	49	51000
84	1	10500	19500	294	30000
14	0	52500	0	49	52500
98	1	21000	19500	343	40500
70	0	21000	0	245	21000
56	1	10500	19500	196	30000
42	1	21000	19500	147	40500
42	2	21000	39000	147	60000
112	1	10500	19500	392	30000
84	1	21000	19500	294	40500
14	1	21000	19500	49	40500
56	1	10500	19500	196	30000
70	0	42000	0	245	42000
56	1	21000	19500	196	40500
56	1	42000	19500	196	61500
14	0	63000	0	49	63000
84	1	0	19500	294	19500
98	0	10500	0	343	10500
154	1	10500	19500	539	30000
56	0	21000	0	196	21000
42	0	42000	0	147	42000
70	0	10500	0	245	10500
64.4	0.68	22680	13260	225.4	35940
33.5708207	0.55677644	15058.1373	10857.1405	117.497872	14591.1788
97.9708207	1.23677644	37738.1373	24117.1405	342.897872	50531.1788
30.8291793	0.12322356	7621.86266	2402.85949	107.902128	21348.8212
56	1	21000	19500	196	40500

costo us	mx	Tfue ser OH	Tfser r/p rev	T T fue serv	TP fue ser
40843		5904	5568	11472	1274.66
21196		0	4344	4344	724
30245		1656	15240	16896	2413.71
51049		2400	4752	7152	1788
30294		3768	3984	7752	1292
52549		0	5136	5136	2568
40843		3360	8832	12192	1354.6
21245		0	16896	16896	2816
30196		2880	2760	5640	1410
40647		1800	480	2280	570
60147		5040	5424	10464	1744
30392		0	9288	9288	1161
40794		2160	4224	6384	912
40549		0	13560	13560	2712
30196		3768	7872	11640	2910
42245		0	10248	10248	1464
40696		2304	11928	14232	2372
61696		0	3672	3672	918
63049		0	12552	12552	2510.4
19794		3768	16056	23592	3932
10843		0	8712	8712	1244.57
30539		1632	15960	17592	1466
21196		0	3312	3312	662.4
42147		0	13560	13560	2712
10745		0	6720	6720	1344
36165.4		1617.6	8443.2	10211.52	1771.0136
14533.5252		1841.65143	4840.03306	5221.24638	861.657206
50698.9252		3459.25143	13283.2331	15432.7664	2632.67081
21631.8748		-224.051433	3603.16694	4990.27362	909.356394
40843		0	13560	16896	2712

series usadas	T. T. vida u	T.P. en nave	#remociones	# r/p USA	#rev/mex
2662	9810	981	10	2	7
2663	14412	2058.85	6	2	4
2511	18849	2356.12	7	1	5
2005	33094	6618.8	5	3	1
1983	23020	3288.57	8	1	6
1982	23471	4694.2	6	5	1
2560	14128	1412.8	10	2	7
2756	11181	1597.2	7	2	5
1741	14406	2401	6	1	4
1711	31754	5292.33	6	2	3
1220	39173	5596.14	7	2	3
1151	35171	3517.1	10	1	8
1980	35213	3912.5	9	2	6
2731	5895	1473.75	4	2	1
2779	10493	1748.8	6	1	4
2755	9910	1101.1	9	4	5
2565	12666	1809.42	7	2	
2537	15091	1676.77	9	4	4
2722	13201	1885.85	7	6	1
prom usada	19523.0526	2811.7	7.31578947	2.36842105	4.16666667
D.Est. usada	10410.5797	1676.6941	1.76549117	1.42245978	2.20293921
suma p+d	29933.6324	4488.3941	9.08128064	3.79088083	6.36960588
resta p-d	9112.47288	1135.0059	5.55029831	0.94596128	1.96372745

#serie nueva	T.T vida	T.P en nave	#remociones	# r/p USA	# rev mex
2773-n	12406	1772.285	7	0	6
2513-n	12375	1546.93	8	1	7
2510-n	17376	1336.61	13	1	11
2678-n	16598	2766.3	6	2	4
2653-n	10590	1765	7	4	3
2734-n	4754	792.33	6	1	5
promedio n	12349.8333	1663.2425	7.83333333	1.5	6
desv stan n	4563.0419	650.797461	2.63944439	1.37840488	2.82842712
suma p+d	16912.8752	2314.03996	10.4727777	2.87840488	8.82842712
resta p-d	7786.79143	1012.44504	5.19388895	0.12159512	3.17157288

#hrs/h revm	# OH	costo r/p usa	costo OH	costo revmx	cos rp y OH
98	1	21000	19500	343	40500
56	0	21000	0	196	21000
70	1	10500	19500	245	30000
14	1	31500	19500	49	51000
84	1	10500	19500	294	30000
14	0	52500	0	49	52500
98	1	21000	19500	343	40500
70	0	21000	0	245	21000
56	1	10500	19500	196	30000
42	1	21000	19500	147	40500
42	2	21000	39000	147	60000
112	1	10500	19500	392	30000
84	1	21000	19500	294	40500
14	1	21000	19500	49	40500
56	1	10500	19500	196	30000
70	0	42000	0	245	42000
56	1	21000	19500	196	40500
56	1	42000	19500	196	61500
14	0	63000	0	49	63000
58.2105263	0.78947368	24868.4211	15394.7368	203.736842	40263.1579
29.9769892	0.53530338	14935.8276	10438.4159	104.919462	12681.3166
88.1875155	1.32477706	39804.2487	25833.1527	308.656304	52944.4744
28.2335371	0.25417031	9932.59341	4956.32095	98.8173798	27581.8413

#hrs/h revm	# r/t	costo r/p USA	costo r/t	costo revmx	cos rp y r/t
84	1	0	19500	294	19500
98	0	10500	0	343	10500
154	1	10500	19500	539	30000
56	0	21000	0	196	21000
42	0	42000	0	147	42000
70	0	10500	0	245	10500
84	0.33333333	15750	6500	294	22250
39.5979797	0.51639778	13212.2103	9192.38816	138.592929	22404.5984
123.59798	0.84973111	28962.2103	13000	432.592929	44654.5984
44.4020203	-0.18306445	2537.78974	-2692.38816	155.407071	-154.598417

costo us mx	Tfue ser OH	Tfser r/p rev	T T fue serv	TP fue ser
40843	5904	5568	11472	1274.66
21196	0	4344	4344	724
30245	1656	15240	16896	2413.71
51049	2400	4752	7152	1788
30294	3768	3984	7752	1292
52549	0	5136	5136	2568
40843	3360	8832	12192	1354.6
21245	0	16896	16896	2816
30196	2880	2760	5640	1410
40647	1800	480	2280	570
60147	5040	5424	10464	1744
30392	0	9288	9288	1161
40794	2160	4224	6384	912
40549	0	13560	13560	2712
30196	3768	7872	11640	2910
42245	0	10248	10248	1464
40696	2304	11928	14232	2372
61696	0	3672	3672	918
63049	0	12552	12552	2510.4
40466.8947	1844.21053	7724.21053	9568.42105	1732.33526
12628.9878	1905.16373	4609.1128	4343.91199	762.072925
53095.8825	3749.37426	12333.3233	13912.333	2494.40819
27837.9069	3749.37426	3115.09772	5224.50906	970.262338

costo us mx	Tfue ser r/t	Tfser r/p rev	TT fue serv	TP fue ser
19794	3768	16056	23592	3932
10843	0	8712	8712	1244.57
30539	1632	15960	17592	1466
21196	0	3312	3312	662.4
42147	0	13560	13560	2712
10745	0	6720	6720	1344
22544	900	10720	12248	1893.495
11058.2325	1549.27389	4811.55941	7508.39786	1203.8977
33602.2325	2449.27389	15531.5594	19756.3979	3097.3927
11485.7675	-649.273894	5908.44059	4739.60214	689.5973