



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

**"Desarrollo de un Programa de Fiabilidad Técnica para una Flota
de Aviones BOEING 727"**

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

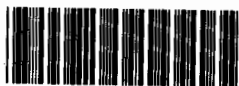
INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Connell Amstrong Hidalgo Mejía

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2003



D-32616



AGRADECIMIENTO



A todas las personas que de
uno u otro modo
colaboraron en la
realización de este trabajo y
especialmente al Ing.
Eduardo Orcés quien con su
invaluable ayuda y apoyo
como Director de Tesis
encaminó el presente a
buen término.

DEDICATORIA



A MIS PADRES

A MI ESPOSA

A DIOS

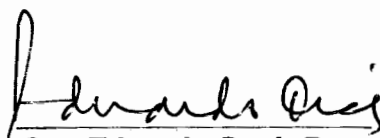
A MIS HIJOS

TRIBUNAL DE GRADUACION





**Ing. Francisco Andrade S.
SUBDECANO FIMCP
PRESIDENTE**



**Ing. Eduardo Orcés P.
DIRECTOR DE TESIS**



**Ing. Omar Serrano V.
VOCAL**

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Connell A. Hidalgo M.', is written over a horizontal line.

Connell A. Hidalgo M.

RESUMEN

El presente trabajo se basa en las regulaciones de la Aviación Civil Ecuatoriana, las regulaciones de la Administración de la Aviación Federal de los Estados Unidos y la experiencia adquirida en distintas compañías de aviación ecuatorianas.

Se empieza por hacer un breve resumen de cuales son los lineamientos generales y fundamentos teóricos en que se basan los programas de fiabilidad técnica en forma general describiendo todos los sistemas involucrados y los parámetros dentro de los cuales deben ser desarrollados.

A continuación se describe el diseño del sistema de recolección de datos señalando los formatos y procedimientos que se utilizan, y los criterios para clasificar la información.

Posteriormente se realiza el diseño del programa por computadora donde se describen los procedimientos empleados en la elaboración del programa en

Excel, las fórmulas estadísticas empleadas y su funcionamiento y se presenta con la información disponible un reporte ejemplo del programa de fiabilidad para aclarar su funcionamiento.

A continuación se presenta el conjunto de procedimientos que se utilizarán para analizar la información computada utilizando para ello una serie de alternativas que sirven para diagnosticar por qué esta entrando en alerta un sistema o componente y cuales son las acciones correctivas que se pueden aplicar para salir del estado de alerta.

Para terminar se presentan una serie de conclusiones que permitirán evitar inconvenientes durante la fase de implementación del programa y llevarla a cabo de una forma eficiente.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ÍNDICE DE TABLAS	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	V
GLOSARIO	VI
CAPÍTULO 1	
1. FUNDAMENTOS GENERALES.....	1
1.1. Objetivo.....	1
1.2. Justificación del Tema.....	1



CAPÍTULO 2

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	4
2.1. Concepto de fiabilidad técnica.....	7
2.2. Nociones Generales del programa de fiabilidad.....	8
2.3. Sistemas de Control de la Fiabilidad.....	9
2.4. Promedios de Utilización y Valores de alerta.....	14
2.5. Cálculo utilizado para establecer estadísticamente los valores de alerta.....	20
2.6. Técnicas utilizadas para evaluar la condición de componentes y sistemas.....	22
2.7. Relación entre el control por la Edad y la Fiabilidad.....	24



CAPÍTULO 3

3. SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	27
3.1. Reportes de Pilotos.....	28
3.2. Reportes de demoras técnicas.....	32
3.2.1. Demoras Técnicas.....	33
3.2.2. Cancelaciones Técnicas.....	35



CIB-ESPOL

3.2.3. Sustitución de Equipos.....	35
3.2.4. Interrupciones de Vuelo.....	36
3.2.5. Incidentes Técnicos y Sucesos.....	37
3.2.6. Consecuencias de los Eventos.....	38
3.3. Remociones no programadas de componentes.....	38



CIB-ESPOL

CAPÍTULO 4

4. DISEÑO DEL PROGRAMA POR COMPUTADORA.....	42
4.1. Consideraciones Especiales sobre los componentes	64
4.2. Cálculo de la Fiabilidad Técnica	65

CAPÍTULO 5

5. REPORTE EJEMPLO DEL PROGRAMA DE FIABILIDAD.....	60
--	----

CAPÍTULO 6

6. SISTEMA DE ANÁLISIS DEL PROGRAMA DE FIABILIDAD.....	73
6.1. Cartas de Trabajo de no Rutina	80
6.2. Inspecciones suplementarias	81



CIB-ESPOL

6.3. Evaluaciones hidráulicas81

CAPÍTULO 7

7. SISTEMA DE ACCIONES CORRECTIVAS.....83

CAPÍTULO 8

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....96

APÉNDICES

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1	ATA 21	50
TABLA 2	Cálculo de t & y	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1	Flujo de Información	29
Figura 3.2	Reportes de Pilotos	31
Figura 3.3	Reporte de Demoras Técnicas	34
Figura 3.4	Reporte de Remociones Prematuras	41
Figura 4.1	Histograma de Frecuencias	53
Figura 4.2	Diagrama de Flujo del programa	61
Figura 5.1	Ejemplos de Tendencias crecientes	68
Figura 5.2	Ejemplos de Tendencias Decrecientes	69
Figura 5.3	Sistemas en Alerta Amarilla	70
Figura 5.4	Sistemas en Alerta Roja	71

GLOSARIO

HT	Componente considerado de tiempo duro.
OC	Componente considerado por condición.
CM	Componente considerado monitoreado por su condición.
MEL	Lista de equipo mínimo con el que debe contar la aeronave.
TBO	Tiempo que estuvo montado en el avión el componente.
PIREP'S	Reporte de pilotos.
UCR's	Remociones no programadas de componentes.
ATA	Asociación de transportes Aéreos.



CAPÍTULO 1

1. FUNDAMENTOS GENERALES.



1.1 Objetivo.

Diseñar un programa de control de la fiabilidad técnica para una flota de aviones Boeing 727 mediante la elaboración de un programa por computadora y procedimientos de análisis y evaluación.

1.2 Justificación del Tema.

Una de las principales preocupaciones de toda compañía de aviación es la búsqueda permanente de la seguridad en la operación de todos sus vuelos la cual va asociada a la satisfacción del cliente y la calidad en el servicio, dualidad esta

indispensable para conseguir ser competitivos en un entorno que exige cada vez más a las distintas compañías que se desenvuelven en la aviación tanto en el ámbito nacional como internacional.

Por esto se hace imprescindible desarrollar un programa de fiabilidad técnica capaz de monitorear, controlar y hasta mejorar la fiabilidad funcional de un avión y sus diferentes sistemas, mediante el análisis detallado de cada uno de los problemas que se presentan durante la operación encontrando así sus causas y posibles soluciones para garantizar en todo momento de que los aviones se encuentran volando de acuerdo a los requerimientos de sus programas de mantenimiento respectivos y en condiciones de aeronavegabilidad.

Es además una forma de controlar la calidad del mantenimiento que se le da a los aviones, así como la calidad de los materiales y herramientas que se utilizan para efectuar dicho mantenimiento.

En resumen, la fiabilidad técnica es un parámetro utilizado para medir de una forma tangible y con gran sensibilidad además, la

capacidad de una compañía de aviación de dar un mantenimiento seguro y fiable a cada uno de los aviones de su flota, manteniendo así bajos los costos de operación pero un altísimo nivel de seguridad en sus vuelos y con la mejor atención por tanto para el cliente.

CAPÍTULO 2

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

Cuando la aviación comercial comenzó a desarrollarse a nivel mundial se observó la necesidad de desarrollar programas de mantenimiento para los aviones que volaban en aquellas épocas, que permitieran operar con seguridad. En este entorno se desarrolla la primera generación de programas de mantenimiento que debido a la falta de experiencia en los equipos y su operación, se basó en que cada parte funcional de un avión requería una inspección periódica en un taller. Se establecieron límites de tiempo para los servicios, chequeos e inspecciones, y el avión entero se desarmaba cada determinado número de horas, se sometía a una reparación mayor "overhaul", y se rearmaba. Esto lógicamente resultaba demasiado oneroso para los operadores de aviones comerciales. Daba como resultado escalofriantes cifras como costos de operación. En todo caso este fue el origen del primer proceso primario de mantenimiento llamado de Tiempo Duro "Hard Time".

A fines de los años 40's, cuando la industria aeronáutica creció, maduró y adoptó aviones más complicados, aparte de una mayor experiencia, la aplicación literal de este proceso primario de Tiempo Duro se volvió obsoleta. La industria aeronáutica se dio cuenta entonces que no todos los componentes y partes de un avión requieren ser enviados a una reparación mayor periódicamente. Es entonces cuando se desarrolla un segundo proceso primario de mantenimiento llamado Por Condición "On Condition". Este se le asigna a componentes en los cuales la determinación de su aeronavegabilidad puede ser realizada mediante inspecciones visuales, pruebas medibles, u otros chequeos sin desmontar la unidad ni someterla a reparación mayor.

El problema radicaba entonces en obtener las frecuencias exactas de chequeos para los componentes considerados de Tiempo Duro y para los Por Condición, para lo cual se desarrollaron muchos procedimientos y pruebas que principalmente las realizaban los fabricantes de partes y equipos en colaboración estrecha con la Administración de la Aviación Federal (FAA) y la experiencia que las distintas compañías operadoras iban adquiriendo. Esto resultaba todavía muy caro y lento en relación con la rapidez en que aumentaba la tecnología de los aviones y se desarrollaba el mercado.



Para aliviar esta situación, la FAA ^{CIB-ESPOL}trabajo con las aerolíneas para desarrollar métodos más sensibles de control de mantenimiento sin sacrificar ni la seguridad ni las regulaciones internacionales. Este método de control estaba orientado hacia el rendimiento mecánico en vez de tratar de predecir puntos de falla como en los métodos previos. El nuevo método fue llamado "control de la fiabilidad" porque su mayor énfasis era mantener los promedios de fallas por debajo de un cierto valor de alerta; esto es, un nivel aceptable de fiabilidad.

La naturaleza analítica (estadística) de este método de control puso de manifiesto que existen componentes y sistemas que no responden a los procesos de control Por Condición ni de Tiempo Duro. Esto trajo consigo el desarrollo de un tercer proceso donde no se requiere programar ni servicios ni inspecciones para determinar la condición o serviciabilidad de una parte o sistema de un avión. De alguna manera, se monitorea y analiza su rendimiento mecánico pero no existen límites o acciones mandatorias. A este tercer proceso primario se lo llamó Monitoreo de la Condición "Condition Monitoring".



CIB-ESPOL



2.1 Concepto de Fiabilidad Técnica.

La palabra “fiable” es un término muy amplio que significa seguro o estable. Este término, usado por la industria aeronáutica, se aplica a la seguridad o estabilidad de un sistema de aeronave o parte de la misma en evaluación. Se considera “fiable” un sistema o componente si sigue una ley prevista de comportamiento y se le juzga “no fiable” si se desvía de este comportamiento. Estas leyes de comportamiento varían mucho entre sí según el diseño y modo de operación del equipo.

Existen numerosos programas de fiabilidad técnica de mantenimiento actualmente en servicio. Aunque el diseño y la aplicación varían, está claro que sus fines fundamentales son los mismos, es decir, reconocer, acceder y actuar sobre síntomas significativos de deterioro o degradación antes de un mal funcionamiento o falla.

2.2 Nociones Generales del Programa de Fiabilidad.

El programa de fiabilidad es una herramienta estadística diseñada para funcionar como un efectivo sistema de control de mantenimiento por métodos estadísticos.

El análisis estadístico es el más efectivo en su aplicación a sistemas y componentes debido a que la ocurrencia de fallas puede reducirse a la simple lectura de valores estadísticos.

Las normas de rendimiento se establecen por un estudio histórico de la experiencia de servicio usando métodos estadísticos junto con la aplicación de un buen juicio técnico. Estas normas se usan para poder identificar las tendencias, configuraciones de mal funcionamiento y /o fallas experimentadas en la flota.

Aunque los programas de fiabilidad varían, deben proporcionar los medios de medición, evaluación y predicciones necesarias para su perfeccionamiento.

El programa debe reflejar las necesidades específicas de cada compañía en cuanto a su concepto operacional, prácticas de

mantenimiento de registros, etc. Puede ser sencillo o complejo en función de la magnitud de las instalaciones de la compañía y de otros factores.

Los programas de fiabilidad deben describir las técnicas utilizadas para medir el rendimiento y calcular la duración de servicio que queda a un determinado componente con suficiente anticipación para tomar la acción correctiva de mantenimiento antes de que falle. Esencialmente, los programas de fiabilidad se usan para el control de mantenimiento estableciendo niveles de rendimiento para cada tipo de unidad y /o sistema individualmente o como clase.

2.3 Sistemas de Control de la Fiabilidad.

Los sistemas típicos utilizados en el control de la fiabilidad son:

Sistema de Recolección de Datos.

Este es el sistema más importante para la fiabilidad técnica, ya que si la información suministrada es clara, fiable y precisa y se la puede recabar en el menor tiempo posible y de la manera más

completa la información que se obtenga como resultado será valiosa. Pero, si no se recaba bien la información o se ingresan datos falsos o incompletos los resultados obtenidos del programa no reflejarán la realidad de la condición de los sistemas, partes o equipos y se podría estar poniendo en peligro la seguridad operacional de los mismos. Este sistema debe contener el diagrama del flujo específico de la información, donde se identifiquen las fuentes de origen, y los procedimientos de transmisión de datos, incluyendo el uso de formatos, reportes por computadora, etc. Las responsabilidades dentro de la organización de la compañía deben estar establecidas en cada paso del desarrollo y procesamiento de los datos.



Sistema de Análisis de datos.

Una vez recabados los datos es necesario contar con un programa que permita estadísticamente evaluar la información del rendimiento mecánico para identificar características que indiquen la necesidad de realizar ajustes al programa, revisar las prácticas de mantenimiento, implementar nuevas partes o equipos, etc., es decir que permita identificar claramente los sistemas o componentes con problemas de tal manera que se puedan tomar

acciones para prevenir el daño antes de que este ocurra. El paso inicial en el análisis es la comparación de los datos con un estándar que represente un rendimiento aceptable. El estándar puede ser un promedio, tabulaciones de tasas de remociones para períodos pasados, gráficos, cartas u otros que involucren definir una "norma". Esta norma es la que se determina a través de la estadística.

En resumen, el objetivo del sistema de análisis de datos es: (1) reconocer la necesidad de una acción correctiva; (2) establecer que acción correctiva se necesita; y, (3) determinar la efectividad de esa acción.

Sistema de Acciones correctivas.

Las acciones correctivas se basan en el análisis, es decir son un reflejo de éste, y deben ser lo suficientemente buenas para restaurar efectivamente el rendimiento a un nivel razonable dentro de un tiempo razonable. El sistema debe incluir alguna forma de notificar a las personas o departamentos responsables de tomar la acción correctiva del papel que van a desempeñar. Debe tener además una buena retroalimentación hasta el momento en que el

rendimiento alcance el nivel aceptable. Normalmente este sistema involucra utilizar métodos que están establecidos en los manuales de mantenimiento tales como ordenes de trabajo, procedimientos para inspecciones especiales, ordenes de ingeniería, etc.

Sistema de Estándares de rendimiento Estadísticos.

Este sistema es la base del programa estadístico, ya que mediante un análisis histórico de la experiencia operacional de la compañía o la experiencia de otras compañías que hayan operado ese mismo tipo de aviones, se establecen los valores iniciales de control de la fiabilidad. El estándar de rendimiento es una medida del rendimiento expresada numéricamente en términos de fallas de sistemas y /o componentes, reportes de pilotos, demoras u otros que sirvan como base para el estándar. El desarrollo de normas de rendimiento, límite de control o valores de alerta se basa normalmente en métodos estadísticos tales como la desviación estándar o la distribución de poisson. El estándar debe ser ajustable con referencia a la experiencia del operador y debe reflejar consideraciones ambientales y de temporadas.



Sistema de Exhibición de datos y reporte.

CIB-ESPOL

Una parte importante también del programa de fiabilidad es precisamente el poder emitir mensualmente un reporte que muestre apropiadamente los datos recabados, los resultados obtenidos y que resuma la actividad del mes previo. El reporte debe cubrir todos los sistemas controlados del avión con la suficiente profundidad como para evaluar la efectividad del programa total de mantenimiento. Debe resaltar los sistemas que han excedido los estándares de rendimiento establecidos y declarar que acción ha sido tomada o planeada. Debe mostrar además las condiciones de alerta que se mantienen continuamente de reportes anteriores y debe mostrar el progreso de programas de acciones correctivas para poder monitorear su efectividad e incidencia sobre el programa en sí.

Ajustes a los intervalos de mantenimiento y cambios en los procedimientos.

Son todos los procedimientos que deben estar establecidos claramente para ajustar los intervalos de mantenimiento; sean estos, chequeos, inspecciones o reparación mayor. Deben constar



CIB-ESPOL

también métodos para ajustar los intervalos de chequeos de avión y motores, si el programa controla estos intervalos, y colocar ejemplos prácticos de su aplicación.

El sistema debe contar también con procedimientos para clasificar inicialmente a los componentes en alguno de los tres procesos primarios de mantenimiento (HT – OC – CM) y para los cambios de un proceso a otro.

Revisiones al programa.

El programa debe incluir un procedimiento para efectuar la revisión de todos los procedimientos utilizados en cada uno de sus sistemas.

2.4 Promedios de Utilización y Valores de Alerta.

Cada programa de fiabilidad debe incluir una norma o estándar de rendimiento expresada en términos matemáticos. Esta norma se convierte en el punto de medición de la máxima irregularidad tolerable. Por lo tanto, las tendencias de fiabilidad aceptables son aquellas que quedan en, o preferiblemente debajo de la norma de



rendimiento. Por el contrario, una ^{CIB-ESPOL} tendencia de fiabilidad que supere a la norma de rendimiento es inaceptable y significa que se requiere de la implementación de una acción correctiva.

La norma de rendimiento puede expresarse en términos de fallas de sistema o componentes por cada 1000 horas de operación de la aeronave, número de aterrizajes, ciclos de trabajo, retrasos en las salidas u otros datos obtenidos en condiciones operacionales.

En algunos casos se puede usar una cifra superior y otra inferior. A esto se lo denomina banda o margen de fiabilidad y proporciona un patrón que permite interpretar o explicar el comportamiento del equipo.

Cuando se excede una norma de rendimiento, el programa debe permitir una investigación activa que conduzca a la acción correctiva conveniente.



Debido a los constantes cambios tecnológicos, no se debe considerar fija la norma de rendimiento porque está sujeta a modificaciones al ir variando la fiabilidad. Esta norma debe ser capaz de responder con rapidez y sensibilidad al nivel de fiabilidad

experimentado. Así mismo debe ser estable sin ser fija. Si a lo largo de un período de tiempo mejora el rendimiento de un sistema / componente hasta el punto en que incluso variaciones anormales no dan por resultado una alerta, entonces la norma de rendimiento habrá perdido su valor y debe ajustarse en sentido descendente. Por el contrario, si se evidenciase que la norma se excede permanentemente a pesar de haberse aplicado las medidas correctivas que se conocen como efectivas para resolver ese determinado tipo de problema para producir la fiabilidad deseada, habría que re-evaluar esa norma de rendimiento y establecer otra más realista. Cada programa debe contener los procedimientos para cumplir, cuando sea necesario, tales cambios según las normas de rendimiento prescritas.

Para realizar el cálculo de los estándares de rendimiento es necesario calcular primero las tasas o promedios de fallas durante determinados períodos de tiempo, normalmente con base mensual.

Para establecer las tasas de fallas de los componentes estructurales, grupos moto propulsores y sistemas, la experiencia operacional adquirida con el tiempo sobre los mismos, o en el caso de nuevas aeronaves, deben revisarse equipos similares con la

profundidad suficiente como para obtener una clara imagen del rendimiento de los sistemas en consideración. Normalmente, debe bastar un período de 6 meses a un año. Para un sistema común a una gran flota de aeronaves, se puede usar una muestra representativa mientras que los sistemas de flotas pequeñas pueden requerir una revisión al 100 %. Debido a las diferentes condiciones operacionales y diseño de los sistemas, es necesario usar distintos medios de medición (por sí mismos o combinados) para obtener criterios satisfactorios de rendimiento. Como se ha dicho antes, existen varios métodos para evaluar y controlar el rendimiento, por ejemplo, desviaciones de la aeronave, interrupciones mecánicas en vuelo, retrasos y cancelaciones de vuelos, regímenes de extracción de componentes no programados, etc.

A continuación se dan algunos ejemplos típicos de los métodos que pueden emplearse para establecer y mantener los valores de alerta. Hay que entender que los métodos de evaluación que siguen son únicamente ilustrativos y que podrían emplearse otros apropiados para hacer tal evaluación:

➤ Informes de los pilotos por cada 1000 salidas de la aeronave.

Varias compañías seleccionan los informes de los pilotos en relación con el número de salidas como medida primaria de la fiabilidad de rendimiento de los sistemas de la aeronave. La base de referencia para el cálculo de los valores de alerta es el acumulado de experiencias de un año calendario. Esto proporciona una gran base estadística y toma en cuenta los extremos de los efectos estacionales. La línea de base para cada sistema se calcula inicialmente compilando el número de informes de pilotos registrados en el período previo de 12 meses multiplicando por 1000 y dividiendo por el número de salidas de la aeronave durante ese mismo período de 12 meses. La finalidad de multiplicar los informes de los pilotos por 1000 es llegar a una cifra que exprese el régimen por cada 1000 salidas ya que éste se expresa en acontecimientos por 1000 salidas.

Para que esto tenga un valor acumulativo de los 12 meses precedentes, este régimen se calcula mensualmente; sin embargo, los datos para el primer mes se eliminan y los compilados para el último mes se suman. Este proceso se repite cada mes.

➤ Informes de los pilotos por cada 1000 horas de vuelo de la aeronave.

Los informes de los pilotos por cada 1000 horas de vuelo de la aeronave pueden seleccionarse como indicador del rendimiento de los sistemas de la aeronave. Las normas de rendimiento en términos de informes de pilotos por cada 1000 horas se establecen para cada uno de los sistemas de las aeronaves.

Cada mes se calcula una media trimestral de funcionamiento para cada sistema. Esta media se obtiene compilando y analizando datos durante tres meses consecutivos; es decir, se divide el total de informes de los pilotos durante tres meses por el número de horas de vuelo de la aeronave durante el mismo período de tres meses. El resultado de este cálculo es la media trimestral. Para mantener una media de funcionamiento, hace falta anular los datos del primer mes y añadir los datos del mes actual a la suma de los dos meses precedentes. Este proceso se repite mensualmente para mantener una media trimestral de funcionamiento. Cualquier sistema que exceda la alerta o que tenga tendencia a indicar que no se alcanzará el objetivo, se considera que necesita atención especial.

2.5 Cálculo utilizado para establecer Estadísticamente los Valores de Alerta.

Muchos programas establecen los valores de alerta revisando el rendimiento anterior y después, aplicando un “buen juicio”, estableciendo el valor numérico de la alerta. Esto funciona normalmente bien, pero, no obstante, el valor puede ser discutible porque el “buen juicio” de una persona puede ser muy distinto al de otra. En un esfuerzo para evitar este aspecto controvertido, algunas compañías prefieren el enfoque estadístico o matemático. Lo importante es que para que sea efectivo hay que disponer para su análisis de una suficiente cantidad de datos precisos.

Para establecer los valores de alerta del sistema, se realiza una evaluación del rendimiento operacional de cada sistema que se desea controlar con el programa. En el programa se definen claramente los criterios que cubren el comportamiento de falla. Usando estas definiciones, se extraen los datos de fallas para cada sistema, partiendo de los defectos de funcionamiento informados por los pilotos durante un período mínimo de 12 meses. Después se calculan la media y la desviación estándar a partir de esos datos y se establece el nivel de alerta igual a la media más una, dos o



CIB-ESPOL

tres desviaciones estándar, dependiendo de la experiencia operacional de la compañía.

El nivel de rendimiento actual de cada sistema se calcula como régimen de rendimiento acumulativo trimestral. Este régimen se calcula multiplicando el número de defectos de funcionamiento en vuelo por un período de tres meses por 1000 y dividiendo por las horas totales de vuelo de la aeronave durante el mismo período. Para mantener un régimen acumulativo, hace falta que se anulen los datos del primer mes y que se añadan los del mes actual a la suma de los dos meses precedentes. Cuando se detecta una tendencia de deterioro del rendimiento del sistema, o si un sistema excede el valor de alerta, se realiza una activa investigación. Esta evaluación se hace para determinar las causas del cambio en el rendimiento del sistema y desarrollar un programa activo de correcciones, si es necesario, para someter de nuevo a control el rendimiento del sistema.



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL

2.6 Técnicas utilizadas para Evaluar la Condición de Componentes y Sistemas.



CIB-ESPOL

Otras técnicas que se usan son las que controlan la condición funcional de los sistemas y /o componentes sin perturbarlos en su medio ambiente de instalación. Estos programas se basan en el establecimiento de un rendimiento aceptable como datos de la línea de base. Los factores utilizados para determinar la línea de base son las fugas interiores y exteriores, pruebas funcionales y análisis detallado de las unidades. Los resultados de esta prueba se convierten en parte del registro permanente de la aeronave. El punto que hay que establecer es el de que las pruebas identifiquen con precisión y de una forma más bien conservadora las discrepancias antes de que se degrade la fiabilidad operacional.



CIB-ESPOL

Este tipo de programa se presta sin dificultad a los componentes. Se ha demostrado también que tiene mucho éxito para controlar la condición funcional de los sistemas de aeronaves, como por ejemplo, los hidráulicos, de acondicionamiento de aire y neumáticos. El sistema que actualmente utiliza este tipo de programa es fundamentalmente el hidráulico. Las distintas



CIB-ESPOL

pruebas llevan a cabo la función del sistema y /o la interrogación del subsistema para determinar la presencia o ausencia de degradación de los componentes. Los regímenes de fugas interiores sirven como criterios para evaluar el efecto de desgaste en el rendimiento de los componentes, mientras que las presiones se usan para determinar ciertas respuestas funcionales de esos componentes.

Durante la prueba, se evalúan por posicionado selectivo de los distintos mandos y puntos de aislamiento del sistema, las piezas individuales, componentes y subsistemas. Partiendo de la comparación de la respuesta producida por medidas secuenciales a las tolerancias establecidas, se puede determinar la situación general o la específica de la unidad defectuosa.

Las ventajas adicionales son:

- No hace falta analizar los datos antes de la salida a menos que las pruebas funcionales indiquen la necesidad de una inmediata acción correctiva.

- Los resultados de la prueba no requieren sustituciones intermedias de unidades que muestren deterioro, siempre que las pruebas funcionales del subsistema y /o componentes sean satisfactorias; y,
- Se puede usar la evaluación de estos datos de prueba para programar la sustitución de componentes y una posterior inspección o comprobación.

2.7 Relación entre el Control por la Edad y la Confiabilidad.

Hay algunas compañías que utilizan la técnica del análisis actuarial como requisito básico para tomar decisiones técnicas relativas a la fiabilidad de los componentes en sus programas de revisión Por Condición y los de fiabilidad del mantenimiento controlado. Los componentes seleccionados en estos programas son aquellos en los que se puede hacer una determinación del mantenimiento de la aeronavegabilidad por medio de una inspección visual, medidas, pruebas u otros medios, sin tener que proceder a una inspección que involucre desmontaje o a una revisión periódica. En virtud de estos programas, se permite que los componentes funcionen en servicio con sujeción a que satisfagan la norma de rendimiento

establecida o los datos de la línea de base "Por Condición" igualmente establecidos.

Inicialmente, se prepara un análisis para determinar su fiabilidad en función de sus características de edad. Se considera que un componente es aceptable para su inclusión en el programa cuando el análisis prueba que la fiabilidad no se deteriora al ir aumentando el tiempo de servicio hasta un punto previamente determinado y establecido por el operador. Normalmente, este punto de corte se considera como el límite práctico tomando como base la cantidad de datos que hace falta recoger y analizar para calificar al componente.

Cuando se deteriora la fiabilidad de un componente hasta un valor por encima del nivel de rendimiento establecido, se realiza otro análisis histórico para determinar la fiabilidad de ese componente en función de las características de su edad. Normalmente, este análisis incluye también una determinación de las razones del deterioro y la acción correctiva requerida para someter a control nuevamente el estado del componente. Este análisis de fiabilidad es un proceso permanente y revela si un componente precisa un

programa de mantenimiento distinto o un cambio de diseño con la finalidad de mejorar la fiabilidad.

También se hace un análisis actuarial cuando el rendimiento observado de un componente mejora hasta el punto en que alcanzan mayores tiempos de funcionamiento más componentes sin experimentar fallas que obliguen a extracciones prematuras. Siendo posible esta mejora de las características de supervivencia, es deseable hacer un análisis de fiabilidad para determinar las características que relacionan la edad con la fiabilidad.

Antes, se evaluaba el rendimiento de los componentes en gran medida tomando como base el índice bruto de extracciones prematuras y el análisis subsiguiente de los resultados obtenidos al hacer los desmontajes en los talleres. La introducción del concepto de revisión Por Condición ha hecho cada vez más importante adquirir una mayor información sobre el rendimiento operacional de los componentes y examinar la relación de este rendimiento con el tiempo de servicio. Esta necesidad ha permitido desarrollar aún más las técnicas de análisis actuarial.

CAPÍTULO 3

3. SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Este es uno de los sistemas más importantes para el programa de fiabilidad, y el paso inicial en su diseño, desarrollo e implementación. Realmente el programa de fiabilidad depende en mucho de este sistema ya que si los datos recolectados son lo más reales posible, se puede poner un elevado grado de confianza en cualquier conclusión que se obtenga. Es decir, mientras más fiables sean los datos recabados, mayor será el grado de confianza que podrá ponerse en la estimación de la fiabilidad.

Este sistema varía mucho dependiendo de la organización y facilidades de la compañía. Para propósitos del presente trabajo y por las facilidades que brindan las compañías de aviación nacionales para el acopio de información, se ha determinado 3 fuentes de datos: (1)

Reportes de pilotos; (2), Reportes de demoras técnicas; y (3), Remociones de componentes.

En la figura 3.1 se puede observar el flujo de la información, desde donde parte, hacia donde va y como es retroalimentado el sistema.

Como se observa en la figura 3.1, la información del programa surge de dos fuentes básicas, los supervisores de mantenimiento de cada base y la bodega de materiales.

3.1 Reportes de Pilotos

Estos son reportajes que hacen ya sea el comandante de la aeronave, primer oficial o ingeniero de vuelo, sobre un mal funcionamiento o sospecha de falla en algún sistema o parte del avión durante el vuelo. Estos reportes se realizan en un formato específico (Fig. 3.2), donde se debe registrar claramente en que sistema, subsistema o parte del avión se detectó el problema y las características del mismo.

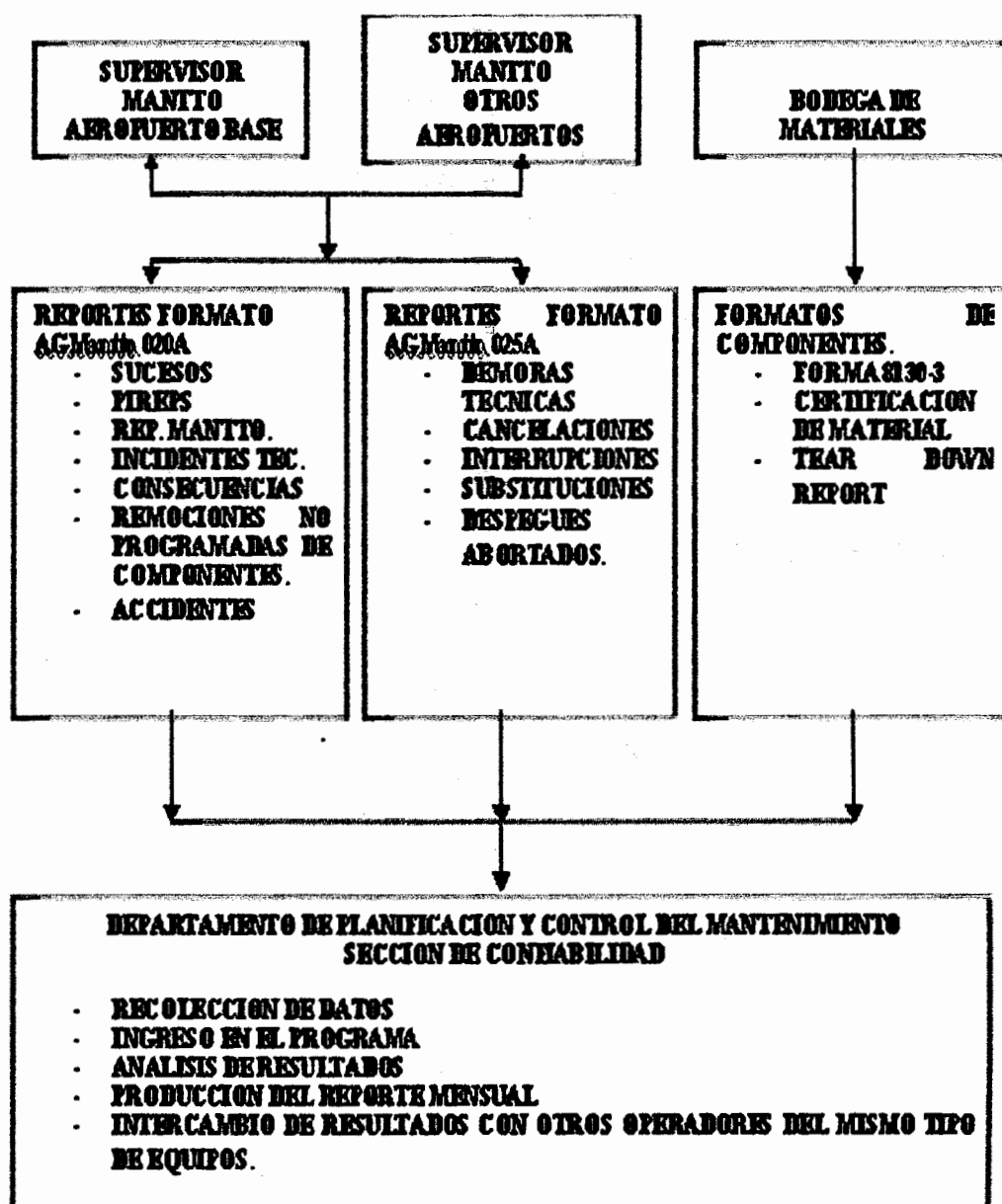


FIGURA 3.1. FLUJO DE INFORMACIÓN

Muchas veces el problema no se puede solucionar antes del próximo vuelo y en tal caso se repite el reportaje. Por esto se hace necesario establecer ciertas normas para evaluar (contabilizar) que reportajes incluir y cuales no en el programa de fiabilidad.

- a. Se evalúan los reportes acumulados durante todos los vuelos, incluyendo en los vuelos de entrenamiento y de traslado (sin pasajeros a bordo), excepto aquellos que ocurren en vuelos de prueba, posteriores a un chequeo, antes de que el avión sea liberado para el servicio.
- b. Los reportes generados por los pilotos y que son diferidos para atención de mantenimiento se evalúan una vez. Aquellos que han sido resueltos satisfactoriamente por mantenimiento, pero en el vuelo subsiguiente se revela aún mal funcionamiento, se evalúan por segunda vez.
- c. No se tomarán en cuenta los reportes de pilotos relacionados con comentarios o información de la tripulación hacia el personal de mantenimiento o viceversa.





AIRCRAFT - MAINTENANCE - LOG

ATA SYSTEM

FIRST IN		DEPT STA		AF. PPG		D D M M Y Y		SFC M.		P.S.		PART 4 INFR		SERIAL N°		SERIAL N°									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18								
COMPLAINT										ACTION															
COMPLAINT										ACTION															
COMPLAINT										ACTION															
COMPLAINT										ACTION															
COMPLAINT										ACTION															
COMPLAINT										ACTION															
COMPLAINT										ACTION															
COMPLAINT										ACTION															
COMPLAINT										ACTION															
COMPLAINT										ACTION															
COMPLAINT										ACTION															
COMPLAINT										ACTION															
COMPLAINT										ACTION															
COMPLAINT										ACTION															
COMPLAINT										ACTION															
COMPLAINT										ACTION </															

FIGURA 3.2. REPORTE DE PILOTOS

Los reportes de pilotos deben ser lo bastante claros y detallados para que esa información le permita al personal de mantenimiento corregir rápidamente los problemas y se eviten un atraso técnico, una cancelación de vuelo o cualquier otro problema que pueda atentar contra la seguridad del vuelo.

En el anexo 1 se puede ver el instructivo de llenado de este formulario para efectos ilustrativos.

3.2 Reportes de Demoras Técnicas.

Este reporte se utiliza para documentar las demoras técnicas; es decir, atrasos en las salidas de un vuelo por causa de mantenimiento.

El termino reporte de demoras técnicas es muy amplio y realmente incluye lo siguiente:

1. Demoras Técnicas.
2. Cancelación de vuelo.
3. Substitución de equipos.
4. Interrupción de vuelo.
5. Incidentes Técnicos y Sucesos.
6. Consecuencias de los Eventos.



A continuación se describen cada uno de estos términos.





3.2.1 Demoras Técnicas

Se considera una demora técnica al atraso en la salida de un vuelo por un tiempo mayor al previamente determinado en la compañía (internacionalmente se consideran 15 minutos), debido al mal funcionamiento de un equipo o sistema, su chequeo y acción correctiva.

Para efectos del programa de fiabilidad se requiere que en el reporte de demoras técnicas (Fig. 3.3) se establezca claramente el problema y la acción correctiva tomada, así como el tiempo total que tomó la reparación.

Este reporte lo prepara normalmente el supervisor de mantenimiento de turno.

Para efectos ilustrativos en el anexo 2 se encuentra el instructivo de llenado del reporte de demoras técnicas.



 65704056 66189606 S.A.	TECHNICAL DELAY REPORT	STATION:	NRT:
		22	23
NOTE :	ALL TIMES SHOULD BE RECORDED AS U.T.C		

A/C TYPE : 1	A/C REG : 2	FLIGHT N# : 3	DATE : 4	ATA : 5
Captain / pilot	in Command. 6	Prepared :	7	Approved : 8

	11	ACTUAL TIME OF DEPARTURE	ACTUAL TIME OF ARRIVAL	9	
	12	SCHEDULED OR REVISED TIME OF DEPARTURE			
	13	TOTAL TECHNICAL DELAY	A/C READY FOR TRAFFIC	10	

☐ CANCELLATION 14
 ☐ ABORTED T/O 16
 ☐ FLIGHT REMARK 18

☐ EQUIP. SUBSTITUTION 15
 ☐ AIR INTERRUPTION 17
 ☐ INSPECTION REMARK 19

REPORT : 20

ACTION:

21

FIGURA 3.3. REPORTE DE DEMORAS TÉCNICAS

3.2.2 Cancelaciones Técnicas.

Es cuando se cancela; es decir, se elimina un vuelo itinerario por conocimiento o sospecha de mal funcionamiento y /o defecto de un sistema o equipo.

Esta también se registra en el mismo formato del reporte de demoras técnicas (Fig. 3.3) por el supervisor de mantenimiento.

3.2.3 Sustitución de Equipos.

Es cuando se reemplaza un avión por otro para cubrir su vuelo itinerario por conocimiento o sospecha de mal funcionamiento.

Este también se registra en el mismo formato del reporte de demoras técnicas (Fig. 3.3) por el supervisor de mantenimiento.

3.2.4 Interrupciones de Vuelo.

Es cuando se realiza un cambio del plan de vuelo original debido al conocimiento o sospecha del mal funcionamiento.

Estas interrupciones de vuelo se registran también el formato del reporte de demoras técnicas (Fig. 3.3) por el supervisor de mantenimiento.

Se consideran interrupciones de vuelo los siguientes casos:

- **Retornos en vuelo:** cuando la aeronave, estando en el aire, debe regresar a su último punto de despegue debido al conocimiento o sospecha de un mal funcionamiento y /o defecto técnico. Debe ser reportado además por la tripulación del avión en el formato de reportes de pilotos (Fig. 3.2).
- **Desviaciones:** cuando la aeronave, estando en el aire, debe aterrizar en cualquier otro aeropuerto que no es el siguiente programado debido al conocimiento o sospecha de un mal funcionamiento y /o defecto técnico.

Debe reportarse además por la tripulación en el formato de reporte de pilotos (Fig. 3.2).

3.2.5 Incidentes Técnicos y Sucesos

Incidente Técnico.

Se define como incidente técnico todo evento de carácter técnico que ocurre entre la partida y la llegada de la aeronave que se considere afecte significativamente a la aeronavegabilidad de la misma. Los eventos mostrados en el anexo 3 son ejemplos de lo que se considera incidentes técnicos.

Este tipo de información debe ser registrado en el reporte de pilotos (Fig. 3.2) por la tripulación del avión indicando la fase de la operación donde ocurrió el incidente: carreteo de salida "taxi out", arranque "start", ascenso "lift off", vuelo de crucero "climb cruise", descenso "descent", aproximación "approach", aterrizaje "touch down", viraje "roll out", carreteo de ingreso "taxi in", la descripción del evento y la acción tomada en la tierra.

Sucesos

Los siguientes sucesos deben ser reportados por la tripulación en el formato de reportes de pilotos o por el supervisor encargado de liberar el avión: (1) Avión dañado en tierra; (2), Turbulencia; (3), El impacto de un rayo; (4), El impacto de un ave; (5), Daños por un objeto extraño (FOD); y (6), Un aterrizaje muy fuerte "Hard Landing".

3.2.6 Consecuencias de los Eventos.

Las siguientes consecuencias de los eventos deben ser reportadas en el formato de reportes de pilotos (Fig. 3.2) por la tripulación o por los Supervisores de Mantenimiento: (1) Descarga de combustible; (2), Retorno en vuelo; (3), Desviaciones; (4), Aterrizaje abortado; (5), Interrupción en tierra; y (6), Vuelo de traslado.

3.3 Remociones no Programadas de Componentes.

Esta es una de las partes más vitales del programa de fiabilidad ya que mediante métodos estadísticos se puede llegar a determinar

cuando un componente tiene la mayor probabilidad de fallar. Para lograr tal objetivo se debe llevar un registro exacto de todas las remociones de componentes controlados en el programa, sean estas programadas o no programadas, el tipo de problemas que presentaban y las tareas que se llevaron a cabo en los respectivos talleres de reparación donde fueron reparados. Así mismo se deberá tener el registro exacto de las horas operadas por los componentes hasta que fueron desinstalados (TBO).

Para efectos de control del programa de fiabilidad se preparó un formato específico (Fig. 3.4) por computadora donde se puede registrar toda esta información.

Las fuentes básicas para conseguir esta información son los certificados que acompañan a los componentes una vez que regresan de algún taller de reparación. Estos certificados pueden ser: Forma 8130-3 que es el documento que avala la condición en que llega el componente, por ejemplo, reparado, servicial, reparación mayor "overhaul", prueba de banco, etc. Certificación de material, que certifica que el material con que se construyó o se reparó la unidad es aprobado para su uso en aviación. Reporte al desmontaje "Tear Down Report", quizás el más importante para

efectos de fiabilidad, ya que en este se reflejan todas las novedades encontradas cuando se desarma completamente una unidad para su reparación.

CIB-ESPOL



CIB-

FIGURA 3.4. FORMATO DE REMOCIONES NO PROGRAMADAS



CIB-ESPOL

CAPÍTULO 4

4. DISEÑO DEL PROGRAMA POR COMPUTADORA

El programa de fiabilidad técnica es una herramienta estadística que utiliza la teoría de las probabilidades para determinar cuando se presenta una condición insegura en un avión o flota de aviones que afecte grave o levemente la aeronavegabilidad de los mismos.

En el Ecuador actualmente solo existe una compañía de aviación, TAME, que tiene implementado un programa de fiabilidad técnica, mismo que fue adquirido a una compañía Colombiana que lo desarrolló. Fuera de esta compañía lo que normalmente se venía haciendo en el país es reunir toda la información disponible para evaluar la fiabilidad de los aviones pero en una forma muy primitiva y desorganizada, por lo que esta información se vuelve poco fiable y de muy poco valor. Sin embargo en el desarrollo del presente trabajo se utiliza información recabada de la operación de un avión Boeing 727-200 Advance que lo operaba la compañía SAETA,

misma que llegó a tener un óptimo sistema de recolección de datos de fiabilidad técnica.

El diseño del programa se basa en un objetivo muy simple: Desarrollar un programa por computadora que “indique” cuando un sistema ha excedido una norma previamente establecida de rendimiento.

Esta norma de rendimiento es la que en el programa se la llama Límite de control superior “Upper Control Limit” (UCL).

El primer paso en el diseño del presente programa es encontrar dicha norma de rendimiento mediante el uso de la teoría de las probabilidades. De esta forma se busca encontrar un intervalo de valores (intervalo de confianza) dentro del cual se tenga una certeza de por lo menos el 95 % que siempre van a ocurrir las fallas de determinado sistema o componente en un período de estudio.

Como se había mencionado los valores límite se obtendrán con datos recabados durante un período de 12 meses. Cómo los números de fallas, demoras o remociones no programadas se obtienen mensualmente se debe tomar en cuenta que estos son datos con respecto a diferentes tipos de operación de los aviones. Es decir, si en el mes de enero hubo 8 fallas



CIB-ESPOL

y en el de febrero también hubo 8 fallas no quiere decir que la fiabilidad del sistema haya sido la misma ya que durante enero pudo haber operado 100 horas pero en febrero 150 horas. De esta forma el primer paso en el diseño será expresar el número de fallas mensual en forma de tasa o rapidez de falla con respecto al número de horas o ciclos operados por cada 100 horas o ciclos de operación respectivamente.

Este valor de 100 horas o ciclos de operación es un parámetro que se establece para fijar una norma de comportamiento mensual. También se puede ajustar a un valor de 1000 horas o ciclos de operación pero este parámetro depende del nivel de operación de las aeronaves. Para efectos del presente trabajo y como se han tomado valores reales en la realización del mismo, la operación de una aeronave no excede las 300 horas mensuales de operación. Por este motivo se eligió 100 como parámetro cierto de medición.

Como se utilizan diferentes parámetros para establecer la confiabilidad funcional del avión, componentes, sistemas y subsistemas se requieren evaluar diferentes estándares de rendimiento como son:



CIB-ESPOL

Cálculo de los estándares de rendimiento de los reportes de pilotos.

El cálculo de las tasas mensuales se realiza en función del número total de reportes de pilotos por cada 100 horas de operación con relación a las horas voladas por la flota de ese respectivo período.

Así:

$$\text{Tasa mensual} = \frac{\text{Número total de reportes de pilotos del mes por sistema} * 100}{\text{Número total de horas voladas de la flota durante el mes.}}$$

Cálculo de los estándares de rendimiento de los reportes de demoras técnicas.

El cálculo de las tasas mensuales se realiza en función del número total de demoras técnicas por sistema por cada 100 ciclos de operación con relación a los ciclos volados por la flota de ese respectivo período.

Así:

$$\text{Tasa mensual} = \frac{\text{Número total de demoras técnicas del mes por sistema} * 100}{\text{Número total de ciclos de la flota durante el mes.}}$$

Cálculo de los estándares de rendimiento de RCNP's mensual.

El cálculo de las tasas mensuales se realiza en función del número total de remociones de componentes no programadas por cada 100 horas de operación con relación a las horas voladas por la flota de ese respectivo período.

Así:

$$\text{Tasa mensual} = \frac{\text{Número total de remociones no prog. del mes por sistema} * 100}{\text{Número total de horas voladas de la flota durante el mes}}$$

Cálculo de los estándares de rendimiento promedio de las remociones no programadas de motores.

El cálculo de las tasas mensuales se realiza en función del número total de remociones no programadas de motores por cada 1000 horas de operación con relación a las horas voladas por la flota completa de motores de ese respectivo período.

Así:

$$\text{Tasa mensual} = \frac{\text{Número tot. de remoc. de motores no programadas del mes} * 1000}{\text{Número total de horas voladas de la flota durante el mes.}}$$

Cálculo de los estándares de rendimiento de las remociones de motores programadas

El cálculo de las tasas mensuales se realiza en función del número total de remociones programadas de los motores por cada 1000 horas de operación con relación a las horas voladas por la flota completa de motores de ese respectivo período.

Así:

$$\text{Tasa mensual} = \frac{\text{Número total de remoc. Programadas de motores del mes} * 1000}{\text{Número total de horas voladas de la flota durante el mes.}}$$

Cálculo de los estándares de rendimiento de las visitas al taller de los motores.

El cálculo de las tasas mensuales se realiza en función del número total de visitas al taller de los motores por cada 1000 horas de

operación con relación a las horas voladas por la flota completa de motores de ese respectivo período.

Así:

$$\text{Tasa mensual} = \frac{\text{Número tot. de visitas al taller de motores del mes} * 1000}{\text{Número total de horas voladas de la flota durante el mes.}}$$

Cálculo de los estándares de rendimiento de los cortes en vuelo de los motores.

El cálculo de las tasas mensuales se realiza en función del número total de cortes en vuelo de los motores por cada 1000 horas de operación con relación a las horas voladas por la flota completa de motores de ese respectivo período.

Así:

$$\text{Tasa mensual} = \frac{\text{Número tot. de cortes en vuelo de motores del mes} * 1000}{\text{Número total de horas voladas de la flota durante el mes.}}$$

Como se puede observar todo lo correspondiente a motores si utiliza un parámetro de 1000 horas o ciclos de operación ya que por avión se utiliza

3 motores, el promedio de utilización mensual de cada uno es como de 300 horas y por lo tanto entre los tres suman unas 900 horas de operación valor este que es más significativo y motivo por el cual ya no se puede utilizar 100 como parámetro.

Como se observará más adelante el programa está dividido en varias secciones, cada una de las cuales consta de algunos sistemas y /o componentes. El procedimiento de cálculo y diseño que se ilustra a continuación se desarrolló con cada uno de ellos pero para efectos ilustrativos solo se representa un ejemplo en este capítulo ya que de lo contrario el presente trabajo se haría extremadamente extenso.

La tabla 1 corresponde a datos reales obtenidos de la operación de los últimos 12 meses de un avión B727-200 correspondientes al capítulo de Aire Acondicionado (ATA 21).

Como es una distribución aleatoria de datos, es decir cualesquiera y cada uno de los valores tiene la misma probabilidad de ocurrir, podemos asumir que este tipo de distribución es normal, lo que podemos comprobar haciendo un histograma.

TABLA 1
REPORTE DE PILOTOS ATA 21

MES	No. DE FALLAS	TASA
ENERO	1	0,61
FEBRERO	0	0,00
MARZO	1	0,83
ABRIL	1	0,60
MAYO	4	2,45
JUNIO	2	1,27
JULIO	4	2,29
AGOSTO	0	0,00
SEPTIEMBRE	0	0,00
OCTUBRE	1	0,58
NOVIEMBRE	0	0,00
DICIEMBRE	0	0,00

Como se había mencionado la distribución normal tiene la siguiente ecuación:

$$Y = e^{(-1/2(x-\mu)/\sigma)^2} / \sigma (2\pi)^{1/2}$$

Si cambiamos variables a: $t = (X - \mu) / \sigma$; y, $A = 1 / (\sigma (2\pi)^{1/2})$

La fórmula se reduciría a: $Y = P(x) = A e^{-1/2 t^2}$

μ Se lo encuentra con la siguiente fórmula ya que es la media de los valores encontrados en la tabla 1.

$$\mu = (0.61 + 0 + 0.83 + 0.60 + 2.45 + 1.27 + 2.29 + 0 + 0 + 0.58 + 0 + 0) / 12$$

$$\mu = 0.72$$

$$\sigma = (\sum (X_i - \mu)^2 / N)^{1/2}$$

Utilizando esta fórmula encontramos que $\sigma = 0.84$.

Con estos valores se calcula el valor de A que viene a ser:

$$A = 1 / (0.84 (2 * 3.1416)^{1/2})$$

Y por lo tanto $A = 0.46$.

De esta forma se calculan los valores de t y de Y para cada valor de X como se muestra en la siguiente tabla:

$$\sigma = 0.84 \quad \mu = 0.72 \quad A = 0.46$$

TABLA 2
CÁLCULO DE t & Y

X	t	Y
0.61	-0.13	0.46
0.00	-0.86	0.32
0.83	+0.13	0.46
0.60	-0.14	0.45
2.45	+2.06	0.05
1.27	+0.65	0.37
2.29	+1.87	0.08
0.00	-0.86	0.32
0.00	-0.86	0.32
0.58	-0.17	0.45
0.00	-0.86	0.32
0.00	-0.86	0.32

Al graficar estos valores en una curva de $Y = f(x)$ se encuentra la siguiente curva:

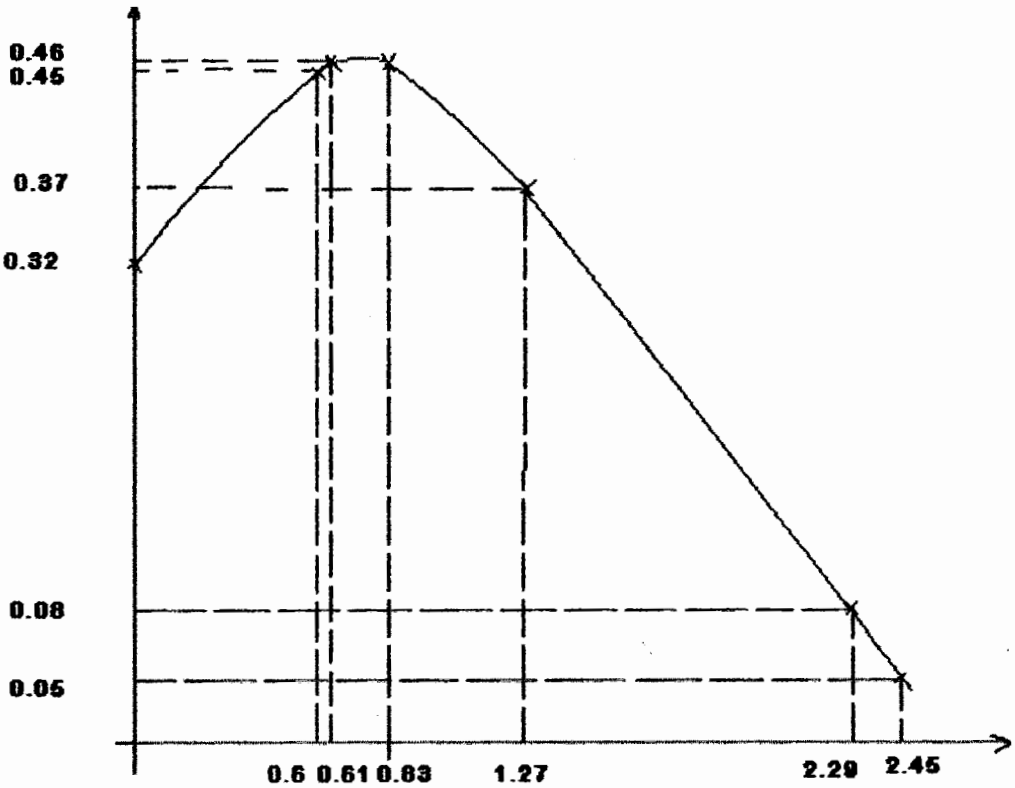


FIGURA 4.1 HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS

Como vemos la distribución del gráfico es simétrica y tiene forma de campana por lo que se asegura que la distribución es normal y obedece a la fórmula de la distribución normal ya mencionada.

Conocido y aclarado esto el siguiente paso en el diseño es encontrar el intervalo de confianza que no es otra cosa que una gama (o un intervalo)

de valores que probablemente contiene el valor verdadero de la media o parámetro de la población.

El objetivo básico del diseño es conseguir el intervalo dentro del cual con un 99 % de certeza se asegure que los valores mensuales de tasas de fallas de determinado sistema o componente estarán dentro. A esta certeza se le llama grado de confianza.

El grado de confianza (α) es la probabilidad $1 - \alpha$ (a menudo expresada como el valor porcentual equivalente) de que el intervalo de confianza contiene el verdadero valor del parámetro de la población. (El grado de confianza también se denomina nivel de confianza o coeficiente de confianza).

Al decir que el intervalo de confianza es del 95 % se está indicando que el grado de confianza es del 5 %, es decir $\alpha = 0,05$.

Esta selección del 95 % es de uso muy popular ya que ofrece un buen balance entre la precisión y la fiabilidad.

Normalmente el intervalo de confianza de una distribución normal se calcula en base a muestras o poblaciones grandes es decir $n > 30$, para lo cual la fórmula quedaría de la siguiente manera:

$$\bar{X} - E < \mu < \bar{X} + E$$

Donde $E = Z_{\alpha/2} \cdot \sigma / (n)^{1/2}$

E es el margen de error y μ es el valor probable dentro de ese margen.

Para entenderlo mejor se puede decir que para cualquier tasa de falla μ que ocurra en un período de un mes, este valor siempre deberá estar incluido dentro de este intervalo de $\bar{X} \pm E$.

Como ya se había mencionado este método solo es valido para poblaciones de $n > 30$. En el presente caso la muestra es realmente de $n = 12$.

Para muestras pequeñas ($n < 30$) debemos utilizar otro tipo de distribución. Para el caso dado que la población corresponde a una población esencialmente normal podemos utilizar la distribución t de Student que responde a la siguiente fórmula:

$$t = (\bar{X} - \mu) / (s / (n)^{1/2})$$

En el apéndice A se enumeran los valores de la distribución t junto con áreas denotadas con α . Los valores de $t_{\alpha/2}$ se obtienen de este apéndice localizando el valor correcto para los grados de libertad en la columna izquierda y procediendo luego por la fila correspondiente hasta llegar al número que está directamente debajo del valor de α aplicable para dos colas.

“El número de grados de libertad de un conjunto de datos corresponde al número de puntajes que puede variar después de haber impuesto ciertas restricciones a todos los puntajes”.

$$\text{Grados de libertad} = n - 1$$

Las propiedades más importantes de esta distribución son las siguientes:

1. La distribución t de Student es diferente para los diferentes tamaños de muestra.
2. La distribución t de Student tiene la misma forma general de campana simétrica que la distribución normal estándar, pero refleja la mayor variabilidad que cabe esperar cuando la muestra es pequeña.

3. La distribución t de Student tiene una media de $t = 0$.
4. La desviación estándar de la distribución t de Student varía con el tamaño de la muestra, pero es mayor que 1.
5. A medida que aumenta el tamaño de muestra n, la distribución t de Student se acerca más a la distribución normal estándar.

De esta manera la fórmula para hallar el error con esta distribución será la siguiente:

$$E = t_{\alpha/2} * S / (n)^{1/2}$$

Donde $t_{\alpha/2}$ tiene $n - 1$ grados de libertad y el intervalo de confianza será:

$$\bar{X} - E < \mu < \bar{X} + E$$

Para el presente caso como $n = 12$ entonces:

$$\text{grados de libertad} = 12 - 1 = 11.$$

Además como queremos un 99 % de certeza entonces:

$$\alpha = 0.01$$

Con estos datos obtenemos del apéndice A el valor de $t_{\alpha/2} = 3.106$.

$$S = \sigma = 0.84$$

$$\text{Así que: } E = (2.201 * 0.84) / (12)^{1/2}$$

$$E = 0.75$$

$$\text{Por lo tanto: } -0.03 < \mu < 1.47$$

Para el caso lo que interesa es solo el límite superior y por lo tanto:

$$UCL = \mu + E = 1.47.$$

Utilizando la teoría de las distribuciones normales podemos saber que el valor medio más una distribución estándar abarcarían dentro de este intervalo el 67 % de todos los valores probables. Es decir nos permite un

margen de error del 33 % para posibles valores aislados de fallas que excedan estos límites permisibles.

En este caso, el valor de la desviación estándar es de 0.84 como ya se había señalado, valor que es ligeramente superior al calculado como el error, por lo que aparece como un buen parámetro de medición del límite de control superior.



El programa por computadora está diseñado mediante 2 libros separados pero conectados entre sí. En uno se realizan los cálculos y en el otro se exhiben los mismos. Además cuenta con un par de libros llamados ANEXOS que son de auxilio para el análisis de las fallas correspondientes a componentes.

El procedimiento de corrida del programa es extremadamente sencillo. En el libro de cálculo de los valores se ubica el cursor en la hoja correspondiente a los datos a ingresar en la línea 100. Una vez ingresados los datos se hace un clic en el icono NEWDATA y el programa automáticamente se actualiza borrando la primera línea de cálculo y agregando la última línea al mismo.

El diagrama de flujo base (Fig. 4.2) para el desarrollo de este programa se muestra a continuación.

NRM = Número de reportes mensuales (PIREPS, Delays, Remociones, etc)

HMF = Horas mensuales de la flota.

CMF = Ciclos mensuales de la flota.

TMF = Tasa mensual de falla /remoción.

SUM = Suma de las TMF de los últimos 12 meses.

PROM = Promedio de las TMF de los últimos 12 meses.

DESVEST = Desviación estándar de las TMF de los últimos 12 meses.

UCL = Límite de control superior.

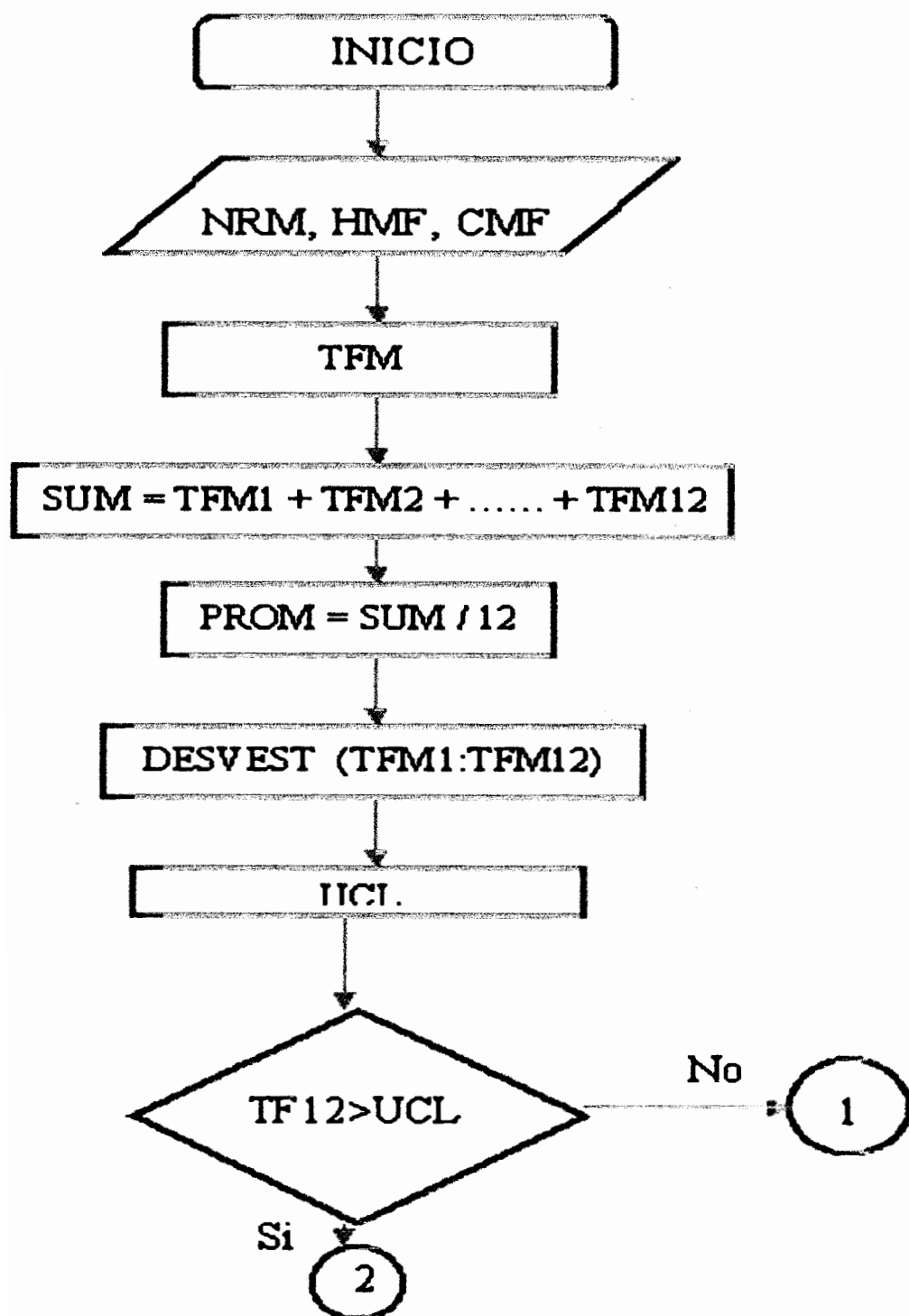


FIGURA 4.2 (a) DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA

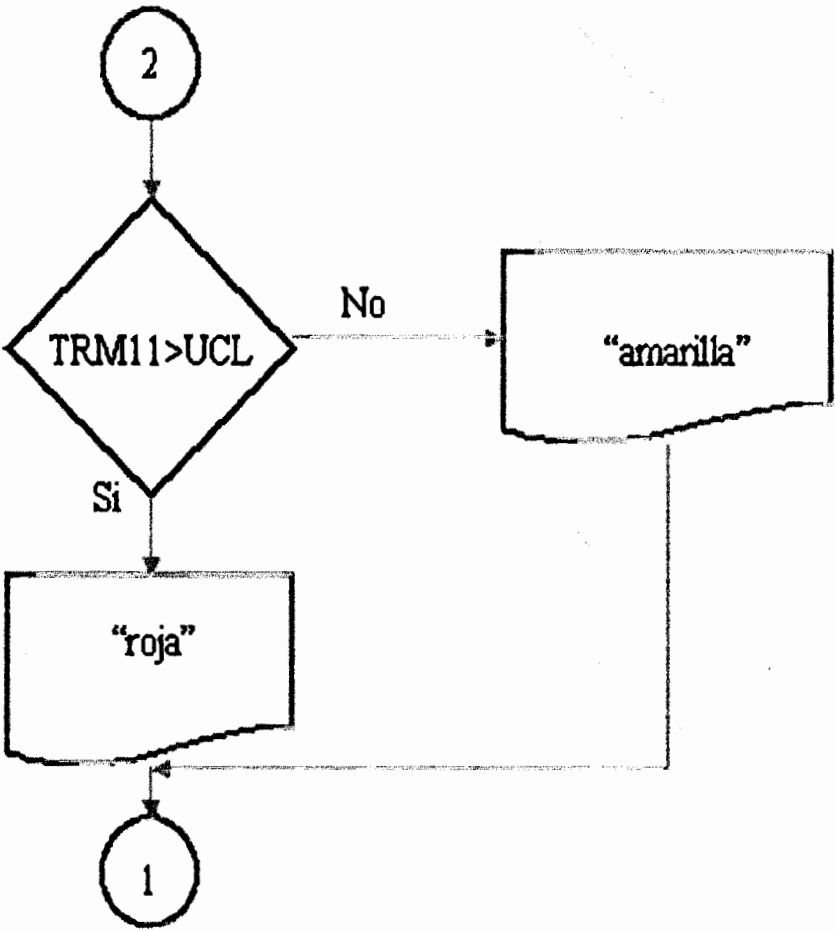


FIGURA 4.2 (b) DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA

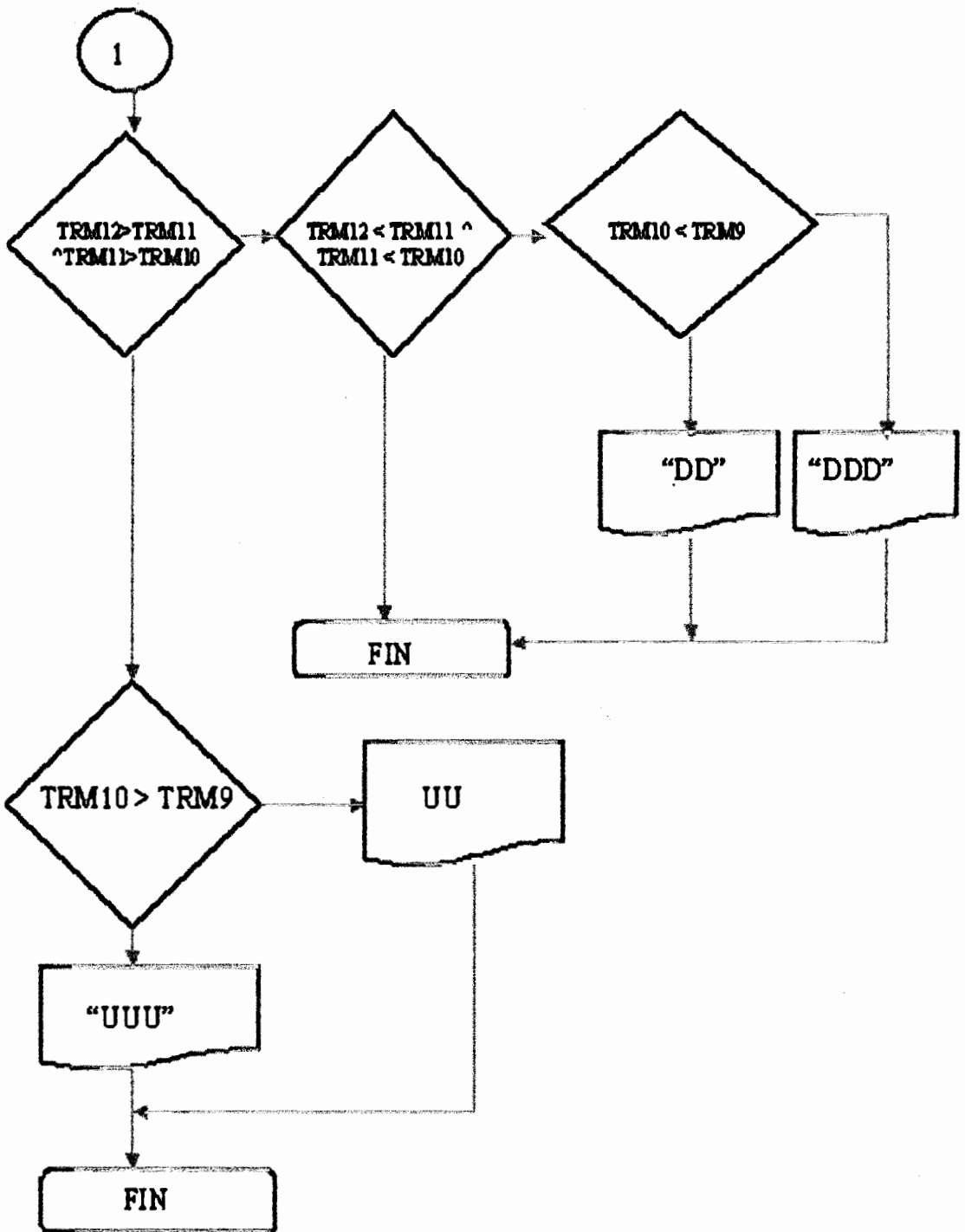


FIGURA 4.2 (c) DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA

4.1 Consideraciones Especiales sobre los Componentes.

Los componentes son considerados una parte fundamental del programa de fiabilidad técnica pues la mayor parte de los costos derivados del mantenimiento de los aviones proviene precisamente de la compra, reparación, o pruebas de componentes.

Esto significa que su control y manejo preciso podría significar el mayor ahorro para una compañía de aviación así como mantener alto su estándar de seguridad por cuanto hablar de componentes involucra la revisión del programa de mantenimiento en función de que tan económico le resulta a la compañía mantener en tal o cual categoría al componente. Además estadísticamente es posible determinar cuán frecuentemente se dañan componentes que no están siendo controlados y por tanto se requiere una planificación anual de su próximo vencimiento para efectos de tomar las previsiones económicas del caso.

4.2 Cálculo de la Fiabilidad Técnica.

Este cálculo se realiza en base a las demoras técnicas ocurridas durante el período de evaluación, es decir en forma mensual y es una forma de evaluar la condición general de la flota para tener una idea global del estado o rendimiento mecánico de la misma.

Este valor se obtiene de la siguiente manera:

Primeramente se calcula el total de demoras ocurridas sumando para tal efecto el número de reportes de cada uno de los siguientes temas:

- Demoras técnicas
- Cancelaciones de vuelos
- Sustitución de Equipos
- Retornos en vuelo

A este valor para efectos de formulación se lo llamará DT.

El valor de la Fiabilidad Técnica (FT) se calcula entonces así:

$$FT = \left[1 - \left(\frac{DT}{FC} \right) \right] * 100$$

donde FC es el número de ciclos operados por la flota.

CAPÍTULO 5

5. REPORTE EJEMPLO DEL PROGRAMA DE FIABILIDAD.

El reporte de confiabilidad está dividido en varias hojas dentro de un mismo libro de Excel, uno para cada parámetro requerido en el programa. Estos libros son: Aircraft Summary, Engine Summary, Pirep's, Delays & Cancellations, y UCR's.

En Aircraft Summary se presentan en forma ordenada todos los registros históricos de incidentes, accidentes, ocurrencias, sucesos o cualquier problema que haya sufrido el avión o flota de aviones durante su operación.

Dentro del análisis del reporte de confiabilidad se encuentran varias situaciones que representan casos previamente establecidos cuya forma de análisis se muestra en los siguientes capítulos.

Estos casos son los siguientes:

Sistemas con tendencias crecientes.

Cuando un sistema muestra en pantalla "UUU" (Fig. 5.1) significa que existe una fuerte tendencia a aumentar su promedio o tasa de falla mensual.

Cuando muestra solo "UU" (Fig. 5.1) significa que existe una tendencia marcada a aumentar pero aún no es tan significativa.

AEROGAL AEROLÍNEAS GALAPAGOS S.A.														FLEET		B727-200	
PLANNING AND MAINTENANCE CONTROL DEPARTMENT														MONTH		DEC99	
														PAGE		08 OF 36	
PILOT REPORTS RATE PER 100 FLIGHT HOURS																	
ATA - NOMENCLATURE	LAST YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	UCI	STATUS	TREND	
21 - AIR CONDITIONING	SDRYTOL	0,61	0,00	0,63	0,69	2,45	1,27	2,29	0,00	0,00	0,53	0,00	0,00	2,47			
22 - AUTO FLIGHT	SDRYTOL	0,00	0,76	1,67	1,19	3,07	0,00	2,29	0,63	0,00	0,00	0,00	0,00	2,90			
23 - COMMUNICATIONS	SDRYTOL	0,00	2,29	0,00	2,90	1,23	1,27	3,43	0,65	0,00	0,53	0,60	3,97	4,23		UUU	
24 - ELECTRICAL POWER	SDRYTOL	3,68	5,34	2,50	0,60	0,61	6,96	0,00	0,00	1,30	0,53	2,40	1,59	6,54			
25 - EQUIPMENT & FURNISHINGS	SDRYTOL	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	0,66	AMARILLA		
26 - FIRE PROTECTION	SDRYTOL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,30			
27 - FLIGHT CONTROLS	SDRYTOL	0,61	0,76	4,17	0,00	0,61	0,63	1,71	1,30	0,00	0,50	1,00	0,00	3,34			
28 - FUEL	SDRYTOL	0,61	0,00	1,67	0,00	0,00	0,63	0,00	1,30	0,65	0,00	0,00	0,00	1,56			
29 - HYDRAULIC POWER	SDRYTOL	0,61	0,00	5,00	1,79	1,23	1,90	1,14	1,30	3,25	0,50	0,00	0,00	4,36			
30 - ICE AND RAIN PROTECTION	SDRYTOL	0,61	0,76	0,63	0,00	1,84	0,63	0,00	0,00	1,30	0,00	0,60	3,97	3,13	AMARILLA	UU	
31 - INDICATING / RECORDING SYSTEM	SDRYTOL	0,00	0,76	0,00	0,00	1,84	0,00	0,00	0,00	1,30	0,53	0,00	0,00	1,63			
32 - LANDING GEARS	SDRYTOL	4,81	9,16	5,83	5,36	2,45	4,43	2,88	3,25	4,35	7,50	7,70	7,14	0,60			
33 - LIGHTS	SDRYTOL	3,07	1,53	1,67	1,19	1,23	1,27	4,57	1,30	1,30	1,74	1,00	0,79	3,07			
34 - FLIGHT INSTRUMENTS	SDRYTOL	1,53	1,53	1,67	4,76	2,45	1,90	5,14	2,60	2,60	3,40	2,99	11,11	0,91	AMARILLA		
35 - OXYGEN	SDRYTOL	0,00	0,00	0,63	0,60	0,61	1,27	1,14	1,30	1,95	3,40	1,00	0,79	3,06		DD	
36 - PNEUMATIC	SDRYTOL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,30			
38 - WATER AND WASTE	SDRYTOL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,16	0,00	0,00	0,77			
49 - AUXILIARY POWER UNIT	SDRYTOL	0,00	0,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,65			
52 - DOORS	SDRYTOL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,57	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,26			

FIGURA 5.1 EJEMPLOS DE TENDENCIAS CRECIENTES

Sistemas con tendencias decrecientes.

Cuando un sistema presenta en pantalla “DDD” (Fig. 5.2) significa que existe una fuerte tendencia a disminuir su tasa o promedio de falla mensual.

Así mismo cuando presenta en pantalla “DD” (Fig. 5.2) significa que existe una marcada tendencia a disminuir.

 AEROLINEAS GALATAG S.A.														FLEET:		B727-200	
PLANNING AND MAINTENANCE CONTROL DEPARTMENT														MONTH:		DEC99	
														PAGE:		06 OF 36	
PILOT REPORTS RATE PER 100 FLIGHT HOURS																	
ATA - NOMENCLATURE	LAST YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	UCL	STATUS	TREND	
21 - AIR CONDITIONING	REPAIR	0.61	0.00	0.03	0.50	2.45	1.27	2.29	0.00	0.00	0.58	0.00	0.00	2.47			
22 - AUTO FLIGHT	REPAIR	0.00	0.76	1.67	1.19	3.07	0.00	2.29	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	2.99			
23 - COMMUNICATIONS	REPAIR	0.00	2.29	0.00	2.99	1.83	1.27	3.43	0.65	0.00	0.58	0.60	3.97	4.23		UAI	
24 - ELECTRICAL POWER	REPAIR	3.69	5.34	2.50	0.60	0.61	6.36	0.00	0.00	1.30	0.58	2.40	1.59	6.54			
25 - EQUIPMENT & FURNISHINGS	REPAIR	0.00	0.00	0.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.64	AMARILLA		
26 - FIRE PROTECTION	REPAIR	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	0.00	0.00	0.38			
27 - FLIGHT CONTROLS	REPAIR	0.61	0.76	4.17	0.00	0.61	0.63	1.71	1.30	0.00	0.58	1.80	0.00	3.34			
28 - FUEL	REPAIR	0.61	0.00	1.67	0.00	0.00	0.63	0.00	1.30	0.65	0.00	0.00	0.00	1.56			
29 - HYDRAULIC POWER	REPAIR	0.61	0.00	5.09	1.79	1.23	1.90	1.14	1.30	3.25	0.58	0.00	0.00	4.36			
30 - ICE AND RAIN PROTECTION	REPAIR	0.61	0.76	0.83	0.00	1.84	0.63	0.00	0.00	1.30	0.00	0.60	3.97	3.13	AMARILLA	UU	
31 - INDICATING / RECORDING SYSTEM	REPAIR	0.00	0.76	0.00	0.00	1.84	0.00	0.00	0.00	1.30	0.58	0.00	0.00	1.63			
32 - LANDING GEARS	REPAIR	4.91	9.16	5.83	5.36	2.45	4.43	2.86	3.25	4.55	7.56	7.78	7.14	9.68			
33 - LIGHTS	REPAIR	3.67	1.53	1.67	1.19	1.23	1.27	4.57	1.30	1.30	1.74	1.80	0.79	3.87			
34 - FLIGHT INSTRUMENTS	REPAIR	1.53	1.53	1.67	4.76	2.45	1.90	5.14	2.60	2.60	3.49	2.99	11.11	8.91	AMARILLA		
35 - OXYGEN	REPAIR	0.00	0.00	0.63	0.60	0.61	1.27	1.14	1.30	1.95	3.49	1.80	0.29	3.06		DO	
36 - PNEUMATIC	REPAIR	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	0.00	0.00	0.38			
38 - WATER AND WASTE	REPAIR	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.16	0.00	0.00	0.77		DOO	
49 - AUXILIARY POWER UNIT	REPAIR	0.00	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.00	0.65			

FIGURA 5.2. EJEMPLO DE TENDENCIAS DECRECIENTES

Sistemas en Alerta Amarilla.

Se dice que un sistema a entrado en alerta amarilla cuando excede un mes el valor limite superior (UCL).

En este caso aparecerá en pantalla la palabra "AMARILLA" como se muestra en la figura 5.3.



PLANNING AND MAINTENANCE CONTROL DEPARTMENT

FLEET: 8727-200

MONTH: DEC99

PAGE: 08 OF 36

PILOT REPORTS RATE PER 100 FLIGHT HOURS

ATA - IMMUNECLATURE	LAST YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	UCL	STATUS	TREND
21 - AIR CONDITIONING	BEYOND	0,61	0,00	0,83	0,60	2,65	1,27	2,29	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	2,47		
22 - AUTO FLIGHT	BEYOND	0,00	0,76	1,67	1,19	3,07	0,00	2,29	0,85	0,00	0,00	0,00	0,00	2,90		
23 - COMMUNICATIONS	BEYOND	0,00	2,29	0,00	2,98	1,23	1,27	3,43	0,85	0,00	0,50	0,60	3,97	4,23		UUU
24 - ELECTRICAL POWER	BEYOND	3,68	5,34	2,50	0,60	0,61	6,96	0,00	0,00	1,30	0,50	2,40	1,59	6,54		
25 - EQUIPMENT & FURNISHINGS	BEYOND	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	0,66	AMARILLA	
26 - FIRE PROTECTION	BEYOND	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,38		
27 - FLIGHT CONTROLS	BEYOND	0,61	0,76	4,17	0,00	0,61	0,63	1,71	1,30	0,00	0,50	1,00	0,00	3,34		
28 - FUEL	BEYOND	0,61	0,00	1,67	0,00	0,00	0,63	0,00	1,30	0,65	0,00	0,00	0,00	1,56		
29 - HYDRAULIC POWER	BEYOND	0,61	0,00	5,00	1,79	1,23	1,90	1,14	1,30	3,25	0,50	0,00	0,00	4,36		
30 - ICE AND RAIN PROTECTION	BEYOND	0,61	0,76	0,83	0,00	1,84	0,63	0,00	0,00	1,30	0,00	0,60	3,97	3,13	AMARILLA	UU
31 - INDICATING / RECORDING SYSTEM	BEYOND	0,00	0,76	0,00	0,00	1,84	0,00	0,00	0,00	1,30	0,50	0,00	0,00	1,63		
32 - LANDING GEARS	BEYOND	4,91	9,16	5,83	5,36	2,65	4,43	2,86	3,25	6,55	7,56	7,78	7,14	9,68		
33 - LIGHTS	BEYOND	3,07	1,53	1,67	1,19	1,23	1,27	4,57	1,30	1,30	1,74	1,00	0,79	3,87		
34 - FLIGHT INSTRUMENTS	BEYOND	1,53	1,53	1,67	4,76	2,65	1,90	5,14	2,60	2,60	3,49	2,99	11,11	8,91	AMARILLA	
35 - OXYGEN	BEYOND	0,00	0,00	0,83	0,60	0,61	1,27	1,14	1,30	1,95	3,49	1,00	0,79	3,06		OO
36 - PNEUMATIC	BEYOND	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,38		

FIGURA 5.3 SISTEMAS EN ALERTA AMARILLA

Sistemas en alerta Roja

Se dice que un sistema o componente se encuentra en alerta roja cuando durante dos meses consecutivos se mantienen sus tasas o promedios de falla por encima del valor limite superior (UCL).

En este caso aparecerá en pantalla la palabra "ROJA" como se muestra en la figura 5.4.

 AEROGAL AEROLINEAS GALAPAGOS S.A.															FLEET: B727-200	
PLANNING AND MAINTENANCE CONTROL DEPARTMENT															MONTH: DEC99	
															PAGE: 08 OF 36	
PILOT REPORTS RATE PER 100 FLIGHT HOURS																
ATA - NOMENCLATURE	LAST YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	UCL	STATUS	TREND
21 - AIR CONDITIONING	BETTER	0,61	0,00	0,83	0,60	2,45	1,27	2,29	0,00	0,00	0,58	0,00	0,00	2,47	AMARILLA	UUU
22 - AUTO FLIGHT	BETTER	0,00	0,76	1,67	1,19	3,07	0,00	2,29	0,65	0,00	0,00	0,00	0,00	2,90		
23 - COMMUNICATIONS	BETTER	0,00	2,29	0,00	2,98	1,23	1,27	3,43	0,65	0,00	0,58	0,60	3,97	4,23		
24 - ELECTRICAL POWER	BETTER	3,68	5,34	2,50	0,60	0,61	6,96	0,00	0,00	1,30	0,58	2,40	1,59	6,54		
25 - EQUIPMENT & FURNISHINGS	BETTER	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	0,66	AMARILLA	
26 - FIRE PROTECTION	BETTER	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	0,00	0,00	0,38		
27 - FLIGHT CONTROLS	BETTER	0,61	0,76	4,17	0,00	0,61	0,63	1,71	1,30	0,00	0,58	1,00	0,00	3,34		
28 - FUEL	BETTER	0,61	0,00	1,67	0,00	0,00	0,63	0,00	1,30	0,65	0,00	0,00	0,00	1,56	ROJA	
29 - HYDRAULIC POWER	BETTER	0,61	0,00	5,00	1,79	1,23	1,90	1,14	1,30	3,25	0,58	0,00	0,00	4,36		
30 - ICE AND RAIN PROTECTION	BETTER	0,61	0,76	0,83	0,00	1,84	0,63	0,00	0,00	1,30	0,00	0,60	3,97	3,13	AMARILLA	UU

FIGURA 5.4 SISTEMAS EN ALERTA ROJA

Cada caso constituye por si mismo un punto de inicio para el análisis de toda la documentación técnica, pruebas funcionales, pruebas en banco, reparación mayor, etc. de la o de las unidades sometidas a observación y así mismo representan puntos medibles de su rendimiento mecánico que

servirán como referencia para futuros análisis del mismo tipo de equipo o sistema en otros aviones similares.

CAPÍTULO 6

6. SISTEMA DE ANÁLISIS DEL PROGRAMA DE FIABILIDAD.

Una vez realizado el reporte mensual, luego de éste, se debe realizar el análisis de los datos que es el proceso de evaluación mecánica u operacional de los datos para identificar características que indiquen la necesidad de realizar acciones correctivas como ajustes en el programa, revisión de las prácticas de mantenimiento, etc. El paso inicial en este proceso de análisis es la comparación de los datos recogidos con un estándar que representa un nivel aceptable de rendimiento.

En resumen, el análisis de los datos tiene como objetivo lo siguiente:

1. Reconocer la necesidad de una acción correctiva;

2. Establecer qué acción correctiva es necesaria; y,
3. Determinar que tan eficiente fue esa acción.

Cuando analizamos el reporte mensual de fiabilidad existen cuatro casos claramente definidos:

- Existe tendencia a aumentar los estándares de rendimiento mensuales.
- Existe tendencia a disminuir los estándares de rendimiento mensuales.
- El sistema /componente esta entrando en alerta (alerta amarilla).
- El sistema /componente esta en alerta (alerta roja).

En este programa se utilizan los tres procesos primarios de mantenimiento y por tanto las tres categorías derivadas de ellos (HT, OC, CM) para controlar la reparación /reparación mayor de sistemas /componentes, sirviendo de esta manera como un elemento integrante del Programa de Mantenimiento para las aeronaves.

Análisis de Sistemas /componentes en alerta (amarilla o roja).

La alerta amarilla es una forma de prevenir que un sistema /componente entre en alerta roja y por tanto se les dará la misma importancia.

El procedimiento es como sigue:

1. Identificar los items significativos de las fallas /remociones.
2. Identificar sus funciones y modos de falla.
3. Responder a las siguientes preguntas:
 - a) ¿Es detectable la reducción a la resistencia a la falla de ese sistema /componente por la tripulación de vuelo?.
 - b) ¿Es detectable la reducción de la resistencia a la falla de ese sistema /componente mediante el mantenimiento en sitio "in situ" o una prueba funcional y /o operacional?.
 - c) ¿Demora la reparación /cambio de ese sistema /componente más de 30 minutos?.



- d) ¿Tiene su modo de falla un efecto adverso sobre la seguridad operacional del avión?.
- e) ¿Aconseja nuestra experiencia de trabajo realizar reparaciones mayores?.
- f) ¿Afecta de algún modo la falla de este sistema /componente el despacho del avión?.
- g) Desde el punto de vista de la tripulación de vuelo ¿existe una función oculta? (efectos secundarios).
- h) ¿Existe una relación adversa entre la edad y la fiabilidad?.
- i) ¿Abarca la reparación /cambio una parte considerable del sistema? (Requiere drenaje, calibración u otros trabajos).
- j) ¿Afecta la falla del sistema /componente la imagen pública de la empresa?.

k) ¿Es más barato reparar /cambiar /modificar el sistema /componente una vez que ha fallado, que tener que observar una periodicidad establecida de reparación?

l) ¿Qué es lo que el fabricante recomienda?

m) ¿Qué experiencias tienen y que tipo de trabajos realizan en estos sistemas /componentes otros operadores del mismo tipo de equipo?

n) ¿Requiere acaso este sistema /componente evaluación adicional? (ordenes técnicas, cartas de no rutina, evaluación de procedimientos, muestreo "sampling", etc).

o) ¿Existe un procedimiento caza fallas establecido para ese tipo de fallas?

p) ¿Es posible modificar el sistema /componente para asegurar un mejor rendimiento?

q) ¿Tenemos la infraestructura, personal calificado y habilitado, y recursos para realizar ese tipo de tarea de mantenimiento?

Análisis de sistemas /componentes con tendencias crecientes.

Esta es una forma de prevenir una alerta amarilla y de esta manera llevar un doble control antes de que un sistema alcance una alerta roja. Así empezamos el seguimiento y análisis de un posible o futuro problema mucho antes de que este ocurra.

Este análisis responde a las mismas preguntas y con el mismo procedimiento de los sistemas o componentes en alerta.

Análisis de sistemas /componentes con tendencias decrecientes.

Este caso difiere de los demás ya que una tendencia marcada a disminuir podría significar una clara evidencia de que hemos sido poco exigentes y debemos apretar un poco más el valor de alerta de tal manera que se haga más sensible a cualquier variación anormal del rendimiento mecánico de dicho componente /sistema.

El procedimiento es el siguiente:

1. Obtener el promedio de falla /remoción de los últimos 6 meses.

2. Obtener la desviación estándar de los últimos 6 meses.

3. Responder las siguientes preguntas:

a) ¿Es detectable la reducción a la resistencia a la falla de ese sistema /componente por la tripulación de vuelo?.

b) ¿Es detectable la reducción de la resistencia a la falla de ese sistema /componente mediante el mantenimiento "in situ" o una prueba funcional y /o operacional?.

c) ¿Demora la reparación /cambio de ese sistema /componente más de 30 minutos?.

d) ¿Tiene su modo de falla un efecto adverso sobre la seguridad operacional del avión?.

e) ¿Existe una relación adversa entre la edad y la fiabilidad?.

f) ¿Qué es lo que el fabricante recomienda?

- g) ¿Qué experiencias tienen y que tipo de trabajos realizan en estos sistemas /componentes otros operadores del mismo tipo de equipo?
- h) ¿Tenemos la infraestructura, personal calificado y habilitado, y recursos para realizar ese tipo de tarea de mantenimiento?
- i) ¿Existe un procedimiento caza fallas establecido para ese tipo de fallas?

6.1 Cartas de Trabajo de no Rutina

Estas cartas son aquellas generadas por mantenimiento durante inspecciones de rutina. Es decir durante la ejecución de cartas estipuladas dentro del paquete de rutina del programa de mantenimiento se generan no rutinas con el objeto de reportar cualquier novedad encontrada en la zona de inspección. Tales novedades pueden ser suciedad, fugas, presencia de hollín, cambio de partes, etc.

6.2 Inspecciones Suplementarias

Estas son trabajos que se realizan en sistemas y /o partes específicas del avión para determinar con exactitud la condición del mencionado sistema y /o parte en evaluación. Usualmente estas inspecciones son requeridas cuando no se ha podido determinar con exactitud el origen de un problema o cuando con el objetivo de determinar el rendimiento mecánico de una parte se envía esta a un taller reparador a manera de muestreo y de esta forma evaluar su condición.

Una vez determinado el origen real del problema o la condición exacta de la parte se pueden hacer proyecciones del tiempo de servicio de dicha parte.

6.3 Evaluaciones Hidráulicas

Estas son evaluaciones requeridas eventualmente cuando dentro del análisis del Comité de Análisis del Programa de Fiabilidad se determina que el rendimiento de una parte o sistema puede ser evaluado a través del seguimiento de la cantidad de fuga hidráulica que se observe por minuto de acuerdo a lo que recomienda el

fabricante en su manual respectivo o de acuerdo a la consulta que se le realice.

En estos casos se elabora un reporte donde se realice el seguimiento diario de la cantidad de liquido hidráulico por minuto observada durante la operación del avión y en base a esto se comparan estos valores para saber si aún esta dentro de límites o no.

CAPÍTULO 7

7. SISTEMA DE ACCIONES CORRECTIVAS.

Las principales acciones correctivas que podrán darse como resultado del análisis de la información resultante del reporte de confiabilidad serán las siguientes:

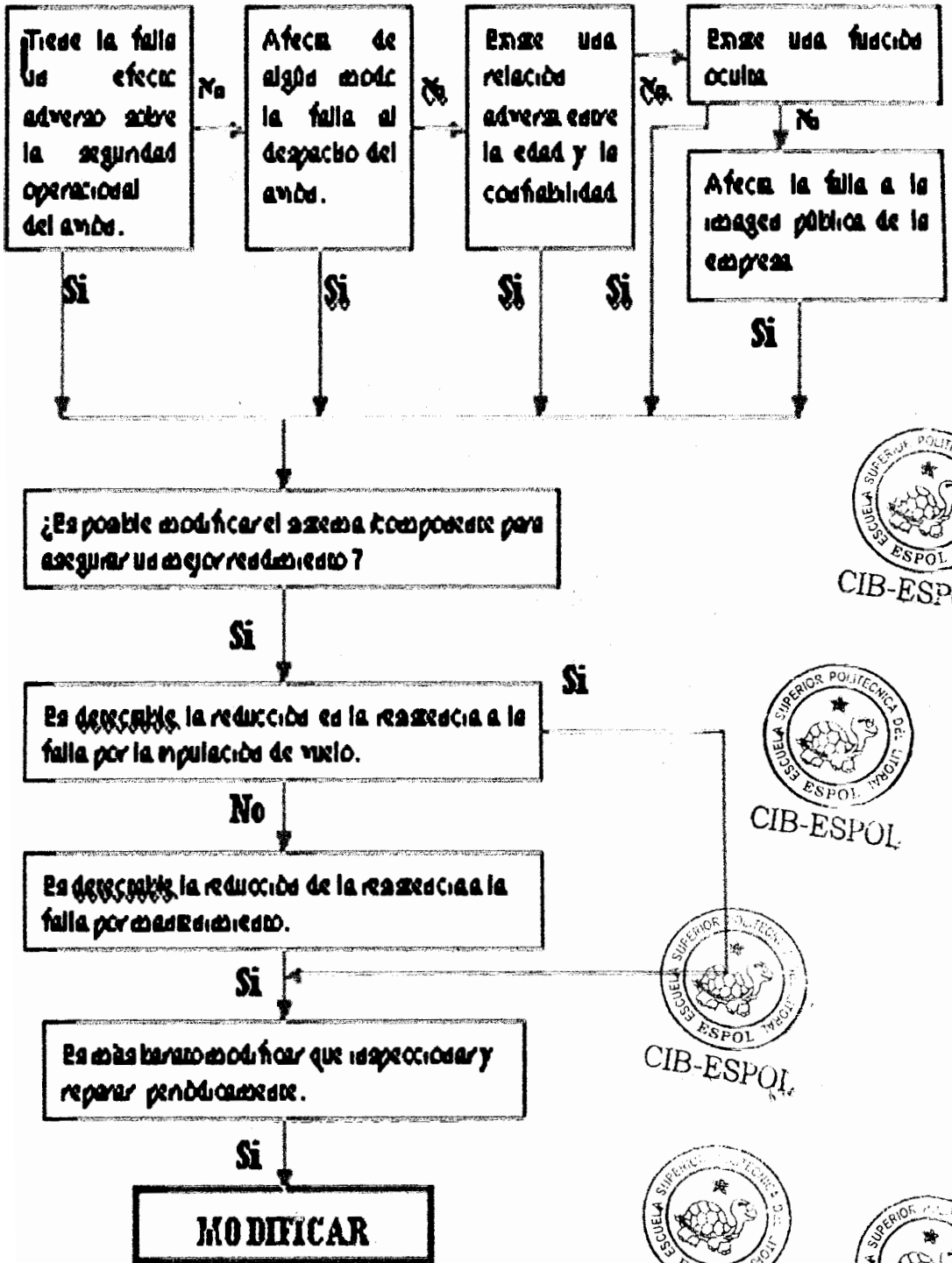
- Modificación en los aviones, sistemas y /o componentes.
- Revisión al Programa de Mantenimiento.
- Implementación de Programas de Entrenamiento Especiales.
- Implementación de técnicas de búsquedas de fallos.
- Evaluación adicional.

- Revisión al MEL (Lista de Equipo Mínimo)

El procedimiento para definir las acciones correctivas a tomarse se basa en el análisis previo de la información y las subsecuentes respuestas a las preguntas efectuadas en el capítulo anterior, por medio de diagramas de decisión para cada acción correctiva posible.

De esta manera encontraremos los siguientes diagramas de decisión:

Diagrama de decisión para efectuar Modificaciones.



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL



CIB-ESPOL

Diagrama de Decisión para efectuar revisiones al MEL

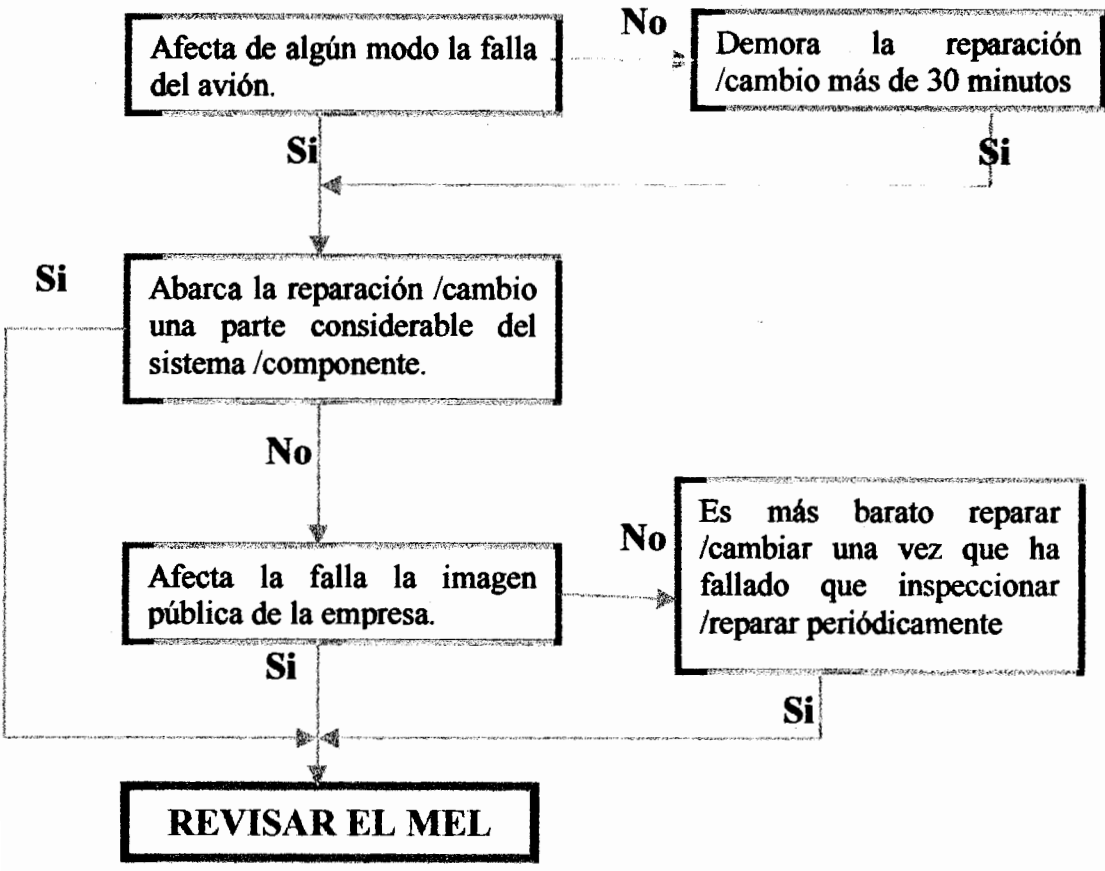
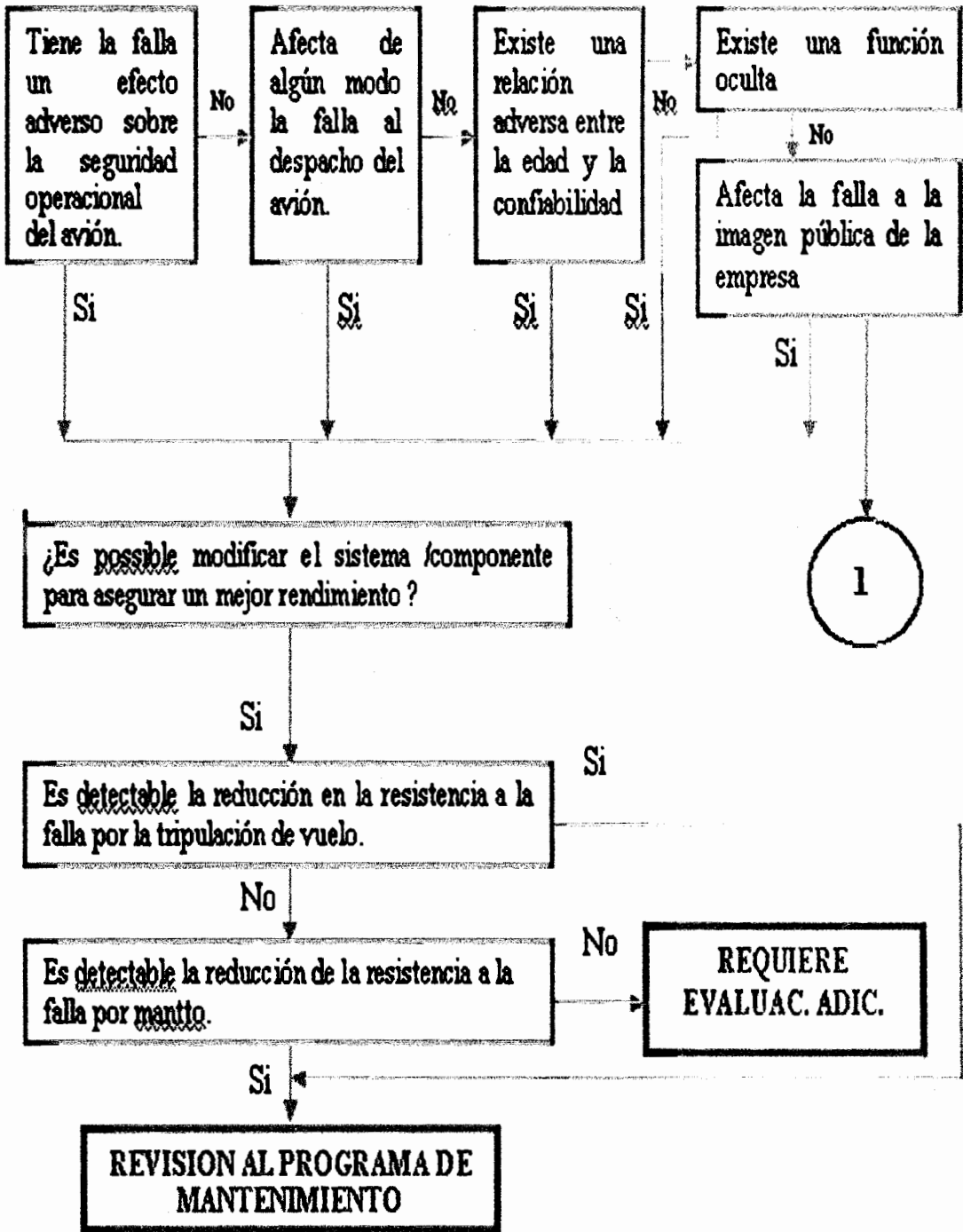


Diagrama de Decisión para efectuar revisiones al programa de Mantenimiento.



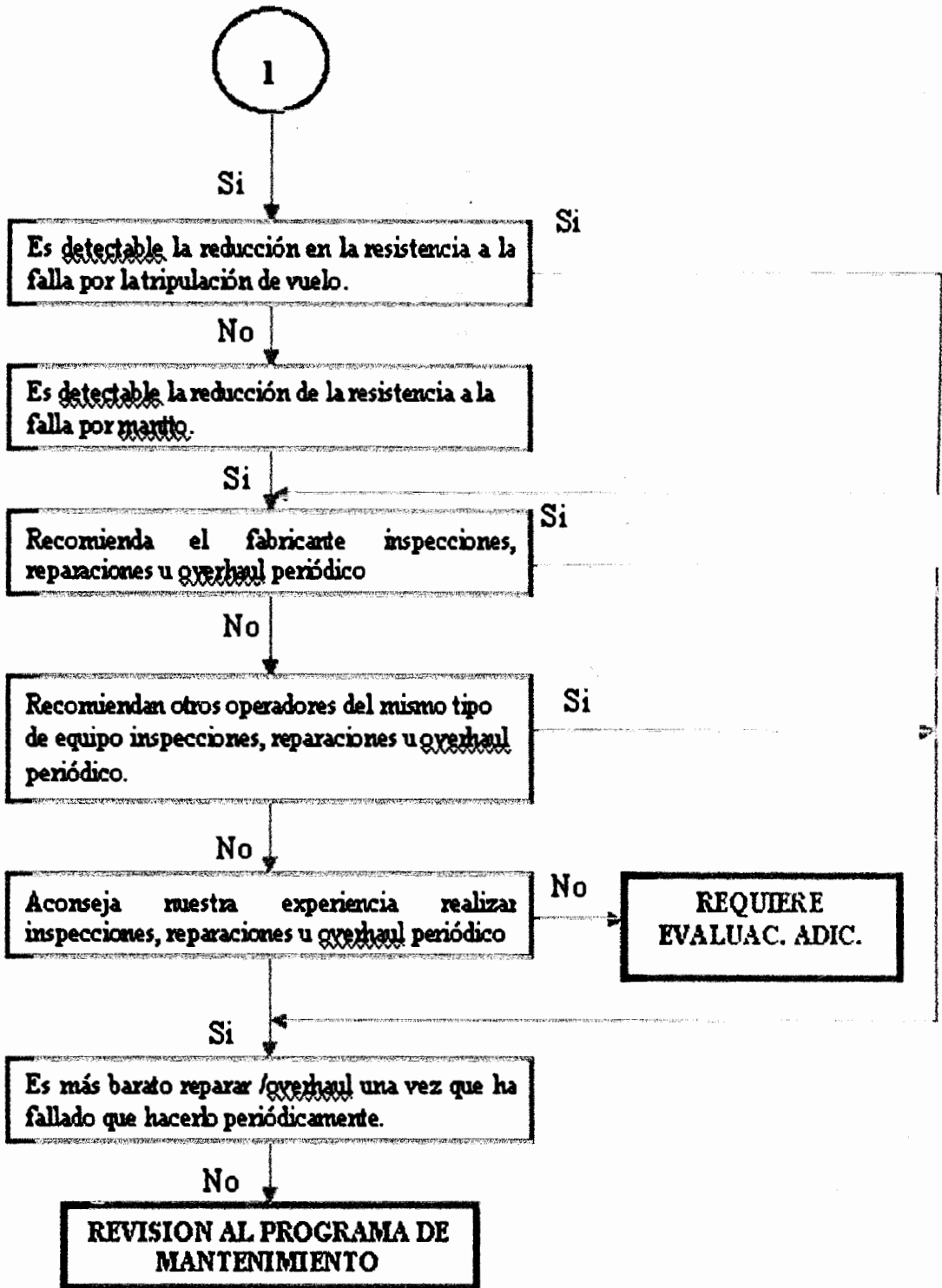


Diagrama de Decisión para Implementación de programas de Entrenamiento Especiales

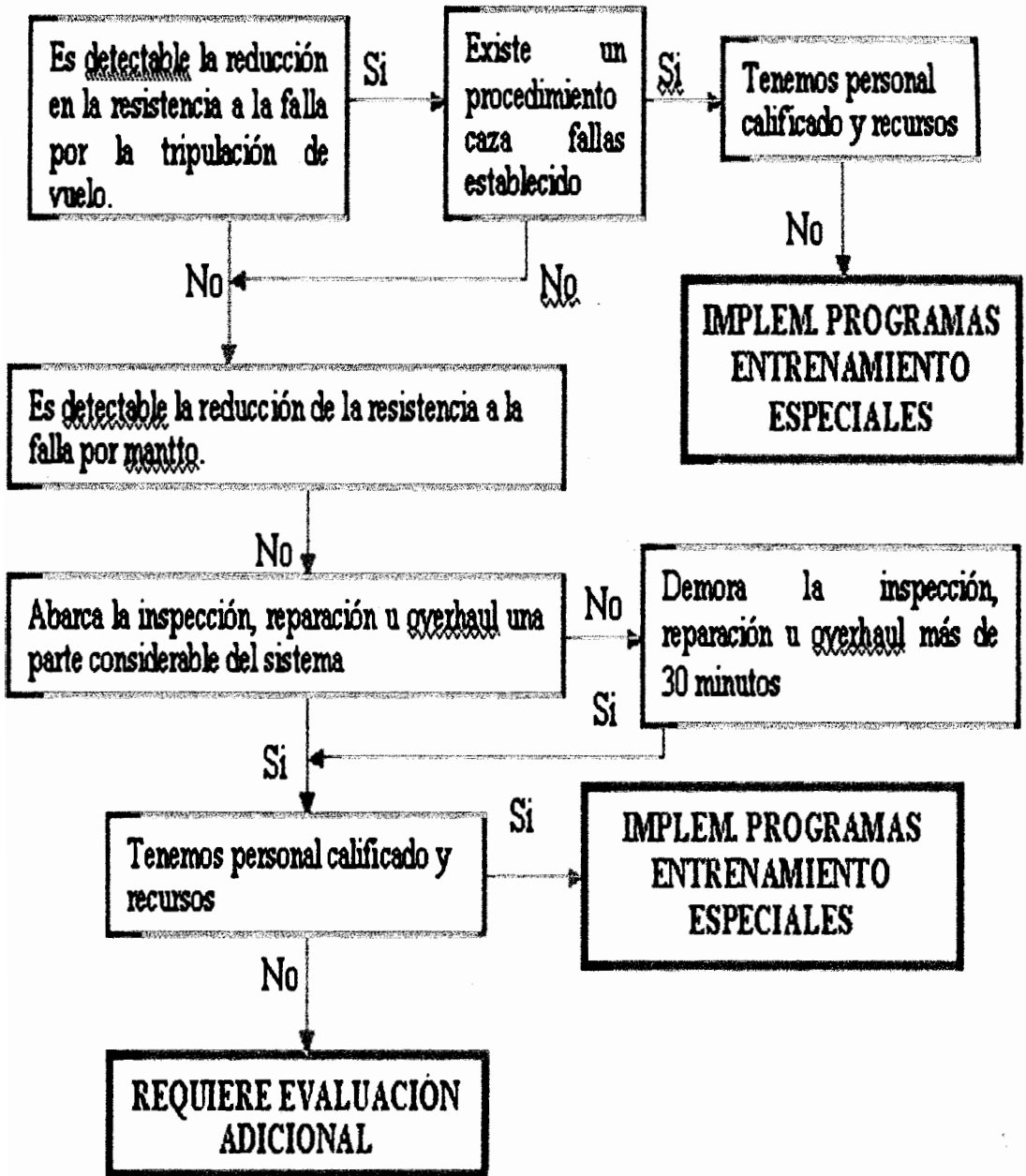
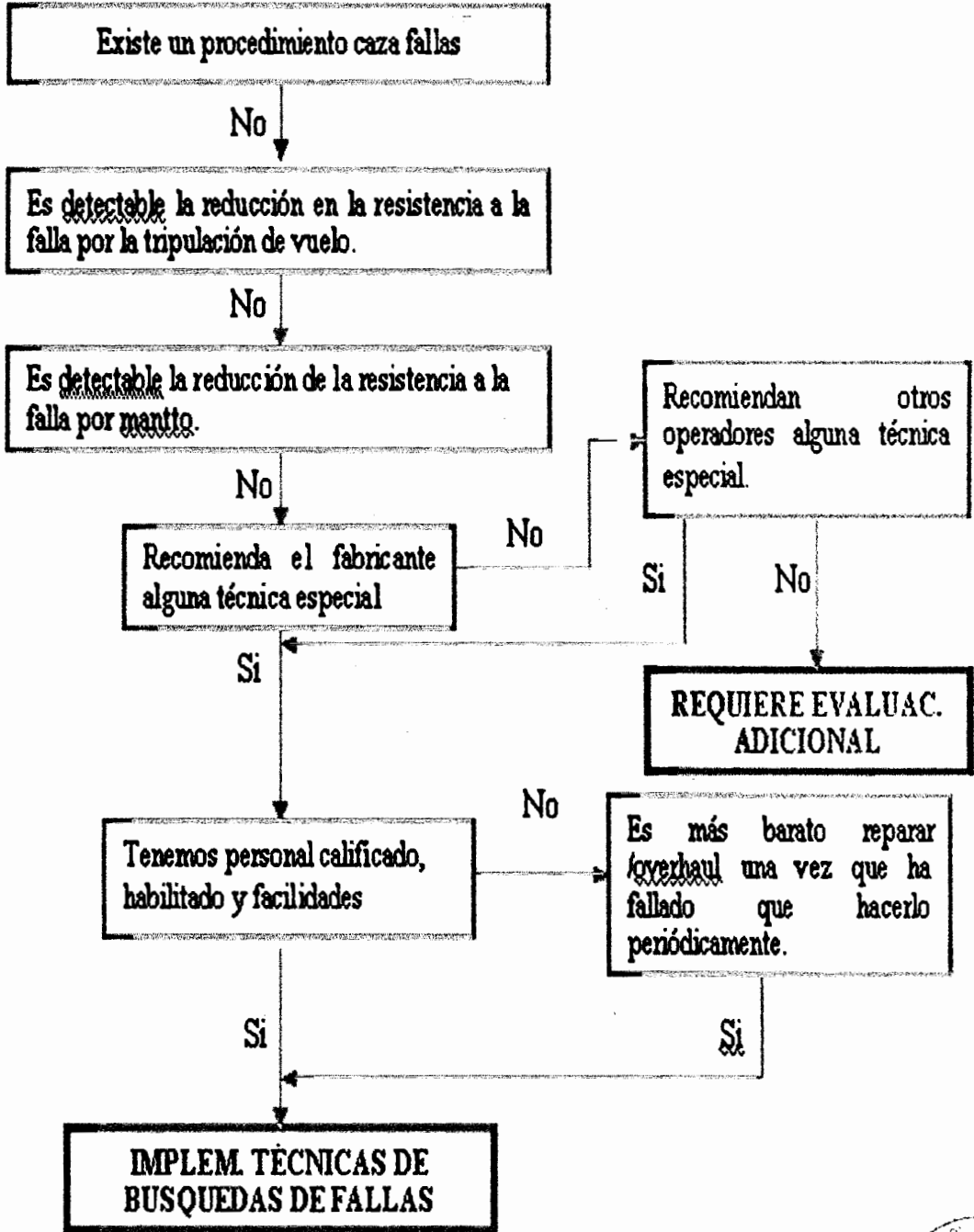


Diagrama de Decisión para Implementación de Técnicas Especiales de Búsqueda de fallas.



Sistemas /componentes con tendencias decrecientes

Esta decisión se basará en criterios técnicos y económicos resultado de las respuestas suministradas a las preguntas del capítulo 6.

Así si la reparación o cambio de ese sistema /componente no demora más de 30 minutos, no afecta a la seguridad operacional del avión, no existe una relación adversa entre la edad y la confiabilidad, la decisión de quitar este sistema /componente del control se basará en términos puramente económicos. Esto es, si es más barato reparar /cambiar una vez que ha fallado que hacerlo periódicamente se decidirá quitar del control.

Por otro lado si alguna de las primeras alternativas mencionadas es sí, no interesará la parte económica, simplemente se desprenderá la conclusión de que se deberá ser más exigente con dicho sistema /componente y se deberá ajustar en forma decreciente el UCL (Limite de Control Superior).

Como vemos cada acción correctiva tiene su propio diagrama de decisión; sin embargo, puede ocurrir que sea necesario tomar dos o más acciones al mismo tiempo. Debido a esto el departamento

especifico dentro de cada organización de mantenimiento encargado de realizar el seguimiento de la fiabilidad técnica deberá analizar y evaluar cada problema por completo a fin de determinar cuales son las acciones correctivas apropiadas.

Modificación



Esta acción implica que será modificado el avión (estructura), sistemas, subsistemas y /o componentes de un avión o flota de aviones de acuerdo a los procedimientos recomendados por los fabricantes, otros operadores del mismo tipo de equipos, etc., y en base a la experiencia propia adquirida por la compañía, junto con la aprobación de la Dirección de Aviación Civil.

Revisión al Programa de Mantenimiento



Esta acción correctiva implica lo siguiente:

1. Agregar o quitar tareas al programa de mantenimiento.
2. Ajustar los intervalos de reparación mayor "overhaul".



3. Ajustes a los intervalos de inspección.

Implementación de Programas de Entrenamiento Especiales

Esta acción correctiva significa capacitación al personal involucrado en técnicas especiales de inspección tales como: Pruebas no Destructivas (NDT), inspecciones estructurales, técnicas especiales de búsquedas de fallas, y cualquier otra según se requiera, así como reforzamiento en sistemas o componentes específicos de acuerdo a los procedimientos descritos en el Manual General de Mantenimiento y el Manual de Entrenamiento de Mantenimiento aprobados para la compañía.

Implementación de Técnicas de búsqueda de fallas.

Esta acción correctiva se ejecutará en base a las recomendaciones del fabricante, las recomendaciones de otros operadores, la experiencia propia adquirida por la compañía, junto con la aprobación de la Dirección de Aviación Civil.

Revisión del MEL (Lista de Equipo Minimo).

Esta acción correctiva se dará en forma restrictiva; es decir, en ningún caso se podrá modificar este documento más allá de lo que los procedimientos descritos en el Manual General de Operaciones de la compañía determinan.

Evaluación Adicional

Las evaluaciones adicionales servirán para determinar la necesidad en una forma más clara de alguna o algunas de las acciones correctivas antes mencionadas. Estas evaluaciones pueden incluir:

1. Consultas específicas con otros operadores del mismo tipo de equipo.
2. Consultas específicas con los fabricantes.
3. Ordenes técnicas
4. Cartas de no rutina.

5. Evaluación hidráulica.

6. Muestreo.

7. Evaluación de registros específicos.

8. Circulares Técnicas (dispositivas e informativas).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

1. No es igual un programa de fiabilidad técnica para una compañía grande que para una pequeña ya que los parámetros difieren debido a los promedios de utilización mensual de los equipos, capacidad de recolección de datos, formas de operación, etc.
2. La utilización de herramientas estadísticas permite predecir con bastante anticipación cuando un sistema o componente puede fallar.
3. Durante la fase de implementación del programa, es decir los doce primeros meses, es de suma importancia la capacitación al personal involucrado en la recolección de datos.

4. El sistema de recolección de datos debió ser totalmente creado utilizando para ello nuevos formatos y procedimientos adaptados a la realidad de las compañías del medio.
5. El programa por computadora es totalmente sencillo y de fácil utilización aunque la desviación estándar es ligeramente mayor que el error calculado ($0.84 > 0.75$) se lo puede introducir como el parámetro de calculo del limite de control superior (UCL) para facilitar las ecuaciones.
6. Las acciones correctivas básicamente se fundamentan en diagramas de decisión conceptuados en función de tres factores principales: seguridad, costos y facilidades de mantenimiento.
7. Durante la fase de implementación se requiere un seguimiento mas cercano de cada uno de los pasos del programa para asegurar datos fiables y completos.

APÉNDICES

APÉNDICE A

DISTRIBUCION t DE STUDENT

TABLA A-3 Distribución t						
Grados de libertad	0.5	0.1	0.05	0.025	0.10	0.25
	(Unilateral) (d.e. 0.5)	(Unilateral) (d.e. 0.1)	(Unilateral) (d.e. 0.05)	(Unilateral) (d.e. 0.025)	(Bilateral) (d.e. 0.1)	(Bilateral) (d.e. 0.25)
1	6.3137	31.821	12.706	6.314	3.078	1.638
2	9.925	6.965	4.303	2.920	1.885	1.123
3	5.841	4.541	3.182	2.353	1.638	1.091
4	4.604	3.747	2.776	2.132	1.533	1.060
5	4.032	3.465	2.571	2.015	1.476	1.040
6	3.707	3.143	2.447	1.943	1.440	1.026
7	3.501	2.967	2.365	1.895	1.415	1.016
8	3.358	2.876	2.306	1.860	1.397	1.008
9	3.250	2.821	2.262	1.833	1.381	1.002
10	3.169	2.771	2.228	1.812	1.372	1.000
11	3.106	2.718	2.201	1.796	1.363	0.997
12	3.054	2.681	2.179	1.782	1.356	0.995
13	3.012	2.650	2.160	1.771	1.350	0.994
14	2.977	2.626	2.145	1.761	1.345	0.993
15	2.947	2.603	2.132	1.753	1.341	0.992
16	2.921	2.584	2.120	1.746	1.337	0.991
17	2.898	2.567	2.110	1.740	1.333	0.990
18	2.878	2.552	2.101	1.734	1.330	0.989
19	2.861	2.539	2.093	1.729	1.328	0.988
20	2.845	2.528	2.086	1.725	1.326	0.987
21	2.831	2.518	2.081	1.721	1.323	0.986
22	2.819	2.509	2.074	1.717	1.321	0.985
23	2.807	2.500	2.069	1.714	1.320	0.984
24	2.797	2.492	2.065	1.711	1.318	0.983
25	2.787	2.485	2.062	1.708	1.316	0.982
26	2.779	2.479	2.058	1.706	1.315	0.981
27	2.771	2.473	2.055	1.703	1.314	0.980
28	2.763	2.467	2.053	1.701	1.313	0.979
29	2.756	2.462	2.051	1.699	1.312	0.978
Grados (∞)	2.575	2.327	1.963	1.645	1.282	0.975

ANEXOS

ANEXO 1

INSTRUCTIVO DE LLENADO DE REPORTE DE PILOTOS

ITEM	CAMPO	DESCRIPCION
1	FLIGHT NUMBER	Anotar el numero de vuelo
2	DEP STA	Estación de partida del vuelo
3	A/C REG	Matricula del Avión
4	DD MM YY	Fecha en que realizo el vuelo, o se reporto la discrepancia (día /mes /año)
5	COMPLAINT	Se detalla los reportes, fallas o estatus técnicos de las aeronaves
6	NAME	Nombre de la persona que ingreso los datos en el numeral 5
7	ATA SYSTEM	Se anota el numero de ATA referente al sistema afectado
8	POS	Se anota la posición del componente que se removió /instalo
9	PART NUMBER	P/N del componente que se removió
10	SERIAL IN	Serie numero del componente que se instalo
11	SERIAL OUT	Serie numero del componente que se removió
12	ACTION	Se detalla la acción correctiva realizada en relación al numeral 5, y se coloca la referencia del manual utilizado.
13	OIL REFILL	Anotar la cantidad de aceite (en cuartos) que se colocaron en los distintos motores y APU.
14	ACTION STA	Estación donde se realizo la acción correctiva
15	DD MM	Día / Mes en que se realiza la acción correctiva
16	NAME /SIGN	Nombre, firma y numero de licencia del mecánica que realiza la acción correctiva.
17	RELEASE STA:	Estación donde se realiza la autorización de aeronavegabilidad (RELEASE)
18	DD MM	Día /Mes en que se realiza el RELEASE
19	NAME /SIGN	Nombre, Firma y numero de licencia de la persona que realiza la liberación (RELEASE) de la aeronave. En caso de estar marcada la casilla de RII como YES, solo podrá firmar en esta casilla un inspector de Control de Calidad. Caso contrario puede firmar el jefe de grupo, supervisor o mecánico con licencia de primera.

ANEXO 2

INSTRUCTIVO DE LLENADO DE REPORTE DE DEMORAS TECNICAS

ITEM	CAMPO	DESCRIPCION
1	A/C TYPE	Tipo de avión
2	A/C REG	Matricula del Avión
3	FLIGHT No.	Numero de Vuelo
4	DATE	Fecha
5	ATA	Se refiere al sistema en el cual se define el problema de acuerdo al ATA 100
6	CAPTAIN PILOT IN COMMAND	Nombre del capitán de la aeronave
7	PREPARED	Nombre y firma de quien preparo el reporte
8	APPROVED	Nombre y firma de la persona que aprobó el reporte
9	ACTUAL TIME OF ARRIVAL	Se registrara la hora de llegada del avión
10	A/C READY FOR TRAFFIC	Se registrara la hora en que avión listo para el vuelo
11	ACTUAL TIME OF DEPARTURE	Se registrara la hora de partida de la aeronave, en UTC
12	SCHEDULED OR REVISED TIME OF DEPARTURE	Hora del vuelo de acuerdo al itinerario o corregida en referencia a la hora actual de llegada.
13	TOTAL TECHN DELAY TIME	Tiempo del atraso mediante la diferencia entre el numeral 12 y el 11
14	CANCELATION	Cuando se elimina un vuelo itinerario
15	EQ SUSTITUTION	Cuando se reemplaza un avión por otro
16	ABORTED TAKE OFF	Cuando se aborta un despegue
17	AIR INTERRUPTION	Cuando se aterrizaje en el mismo aeropuerto de origen o en uno diferente al proyectado
18	FLIGHT REM	Cuando existe un reporte por parte de tripulación
19	INSPECTION REMARK	Cuando se detecta una discrepancia durante la inspección del avión
20	REPORT	Se anota el reporte que generó la demora
21	ACTION	Anotar las acciones para corregir la falla
22	STATION	La estación donde se origina el reporte
23	NRT	Numero de reporte técnico de atraso

ANEXO 3

EJEMPLOS DE INCIDENTES TÉCNICOS

Fuego o humo real a bordo	Fuego o humo falso a bordo
Fuego a bordo	Humo a bordo
Despresurización	Incendio en un motor
Corte de motor en vuelo	Falla de sistema combustible
Falla del sistema de aterrizaje	Defecto mayor en una llanta
Falla del sistema de frenos	Falla estructural
Daño causado por el sistema de gases de escape del motor	Cualquier otra falla de sistema

BIBLIOGRAFÍA

1. Circular de Recomendación de la FAA AC 120-17A.
2. Circular Dispositiva de la DGAC.
3. TRIOLA F. MARIO, Estadística Elemental, México D.F. –México, Séptima Edición.