

**NOCIONES DE FIABILIDAD (CONFIABILIDAD)  
PROPUESTA DE METODOLOGÍA (EN USO) PARA ENTENDER Y APLICAR  
CONFIABILIDAD EN MANTENIMIENTO**

Ing. Aer. Icek Dawid Gomplewicz  
Departamento de Aeronáutica-Facultad de Ingeniería-UNLP  
Departamento de Aeronáutica-UTN-Facultad Regional Haedo  
Email: [degomplew@ing.unlp.edu.ar](mailto:degomplew@ing.unlp.edu.ar)

**- RESUMEN:**

Básicamente, consiste en una introducción al concepto de Fiabilidad (confiabilidad), con sus diferentes definiciones, y a partir de ellas, se analiza e introduce la metodología:

- Sabemos que la falla es “inexorable”, razón por la cual debemos “gerenciar la falla”, mediante un método que permita “controlar” el deterioro del sistema y evitar las consecuencias de la falla.
- Se explican los beneficios de trabajar de esta manera y las hipótesis de trabajo junto con nociones de fallas y reemplazos
- Se analiza someramente la “curva de la bañera”, tipos de falla en cada una de sus zonas y las “acciones de mantenimiento” a llevar a cabo.
- Se define Tiempo Medio entre Fallas/Promedio de Tiempos de Buen Funcionamiento y, finalmente, se elabora un modelo de Análisis de Datos (denominado Vigilancia Continua) durante la vida útil.
- Se dan los Valores Estándar de Confiabilidad de Flota y de Componentes, mediante: Rate de Fallas: Mensual, Trimestral y su relación con el Upper Control Limit. Se establecen las distintas Alertas (amarilla y roja) y se da un ejemplo de seguimiento de un sistema de aeronave.

**Palabras clave:** fiabilidad, falla, Tiempo Medio Entre Fallas

**- INTRODUCCIÓN**

**1- La IDEA PRIMARIA** parte de la definición de FIABILIDAD (CONFIABILIDAD, INFALIBILIDAD, etc.): Evaluar (cuantificar) el grado de confianza que se le puede asignar a la vida de un equipo o sistema, pues es importante hacer frente a la necesidad de otorgar un grado de confianza al mantenimiento de las performances iniciales de un equipo o sistema.

Para ello debemos definir **PROBABILIDAD ESTIMADA DE SUPERVIVENCIA**: Probabilidad de funcionamiento correcto, durante un cierto tiempo y bajo determinadas condiciones de solicitud

Pero no debemos olvidar que:

- La responsabilidad principal en la fiabilidad de un sistema es del ingeniero, pues este tiene participación importante en: Diseño, fabricación, operación y mantenimiento del equipo o sistema.

**ADEMÁS:** No basta con que el sistema TENGA determinadas capacidades: **ES NECESARIO QUE ESTAS CAPACIDADES SE MANTENGAN EL MAYOR TIEMPO POSIBLE**

**2- PROBLEMA**

**Sabemos** que, de tiempo en tiempo, aparece una avería o “falla” que inutiliza el sistema en forma transitoria o definitiva, lo que significa la necesidad de retirarlo del servicio.

Para el administrador: situación que representa, como mínimo, una pérdida económica y, en algunos casos, influye directamente sobre la seguridad.

**Sabemos** que la aparición de una falla es “inexorable” (MURPHY: ocurre en el momento más inoportuno).

Lo que nos queda es implementar una política para precavernos de sus efectos: **GERENCIAR LA FALLA**

**- ¿DE QUE MANERA?**

- 1 - Gerenciar las consecuencias de la falla (Mantenimiento correctivo; mantenimiento reactivo, etc.)
- 2 - Evitar y/o prevenir (de alguna manera) la falla.

### - ¿COMO “EVITAR” LA FALLA?

Si logramos implementar un método que permita controlar el deterioro (tendencia) de un sistema hacia la falla, la falla podría ser controlada (evitada) reemplazando el sistema/equipo/accesorio, etc. ANTES QUE OCURRA: ESTO COLOCA A LA ORGANIZACIÓN DE MANTENIMIENTO POR DELANTE DEL EQUIPO O SISTEMA

#### - BENEFICIOS

- Minimizar demoras, equipos fuera de servicio, etc.
- Prever y organizar las reparaciones y/o reemplazos de sistemas con la suficiente anticipación
- Mejor control de mano de obra y de stock e inventario
- Proveer al mecánico de línea de asistencia directa cuando está trabajando en el análisis y solución de una falla (troubleshooting)

#### EL MÁS IMPORTANTE

- Permite al empresario maximizar las utilidades generadas por el sistema, dado que el mismo, por una correcta gestión del mantenimiento, está más tiempo disponible para producir

- CUMPLIMOS EL OBJETIVO PRIMARIO DE MANTENIMIENTO: GENERAR LA MAYOR CANTIDAD DE HORAS DE SISTEMA SIN FALLAR

El apoyo brindado por ingeniería de mantenimiento (generando el “que hacer”) a mecánicos con la mayor cantidad posible de conocimientos sobre el equipo, permitirá evitar costosas reparaciones e interrupciones NO PREVISTAS, manteniendo los equipos disponibles para producción

- TODOS GANAN: Producción, la organización de mantenimiento, el contador y la empresa.

### 3- ¿CÓMO?

En principio:

- a) Reglas mínimas de mantenimiento (de rutina): engrase, plan de lubricación, limpieza, etc.
- b) Prever la magnitud de los intervalos durante los cuales la PROBABILIDAD de presentación de falla es MINIMA y efectuar las inspecciones que nos permitan detectar los reemplazos o reparaciones necesarias para conservar las características de buen funcionamiento: “mantenimiento programado” (Hard Time, etc.)

#### 3.1 ¿QUE ES FALLA?

Para ello definimos el FUNCIONAMIENTO INCORRECTO: Cuando un sistema/equipo/accesorio, etc. no cumple con las performances establecidas, o cuando no opera en absoluto, decimos que:

#### FALLA

#### 3.2 HIPÓTESIS DE TRABAJO:

- En algún momento se ha realizado una simulación de comportamiento y dibujado la “curva de supervivencia”, CONTANDO los elementos que logran sobrevivir como una estimación de la probabilidad de supervivencia: confiabilidad del sistema.
- Si la hipótesis es: las fallas se producen al final de cada período, el N° de fallas de un período en particular estará dado por la diferencia entre la cantidad de elementos que funcionan normalmente al inicio y el N° de elementos que continúan haciéndolo al final del período: MORTALIDAD ABSOLUTA
- Pero: Si la diferencia la hacemos respecto del valor inicial del lote en evaluación, tendremos MORTALIDAD RELATIVA
- Además: si hacemos el cociente entre las piezas que fallaron en un período respecto al número de piezas con que se inició dicho período: TASA MEDIA DE FALLA (o velocidad media de falla)

#### ■ EJEMPLO (los elementos son nuevos)

Periodo	dN° supervivientes	% de supervivientes	Mortalidad Absoluta	Mortalidad Relativa	Tasa Media de Falla
0	1000	1	-,-	-,-	-,-
1	900	0,9	100	0,1	0,1
2	700	0,7	200	0,2	0,22
3	200	0,2	500	0,5	0,72
4	100	0,1	100	0,1	0,50
5	0	0,1	100	0,1	1,00

### 3.2.1 VIDA MEDIA y FUNCION DE SUPERVIVENCIA

Mediante un análisis estadístico llegamos a definir la **VIDA MEDIA DE LOS ELEMENTOS**:

$$\bar{t} = \sum_{t=0}^{t=\infty} s(t)$$

donde

**s (t) = FUNCION DE SUPERVIVENCIA**

### 3.2.2 NOCIONES DE FALLAS Y REEMPLAZOS

- El análisis que realizamos, hasta aquí, consideraba que al final todos los elementos fallan y tenemos CERO
- PERO: en nuestra realidad tenemos un número constante de elementos en funcionamiento: Esto implica que, al final de cada período debemos tener en cuenta las fallas del período, mas las fallas de los reemplazos, etc. llegando a una expresión matemática:

$$R(t) = \sum_{t=1}^{t=\infty} r(t)$$

Esta ecuación nos da el número acumulado de reemplazos hasta el final del período t.

- El conocimiento aproximado de la curva de supervivencia nos permitirá, mediante la formula anterior, conocer el numero esperado de reparaciones a efectuar durante un ejercicio económico.
- Si conocemos el costo medio de reparación, podremos prever la erogación a efectuar durante el próximo ejercicio, en concepto de reparación de unidades.

### 3.2.3 TASA DE REEMPLAZOS

- Si realizamos el cociente entre el número de reemplazos: r (t) y el número de elementos en operación tendremos: **TASA DE REEMPLAZOS**:

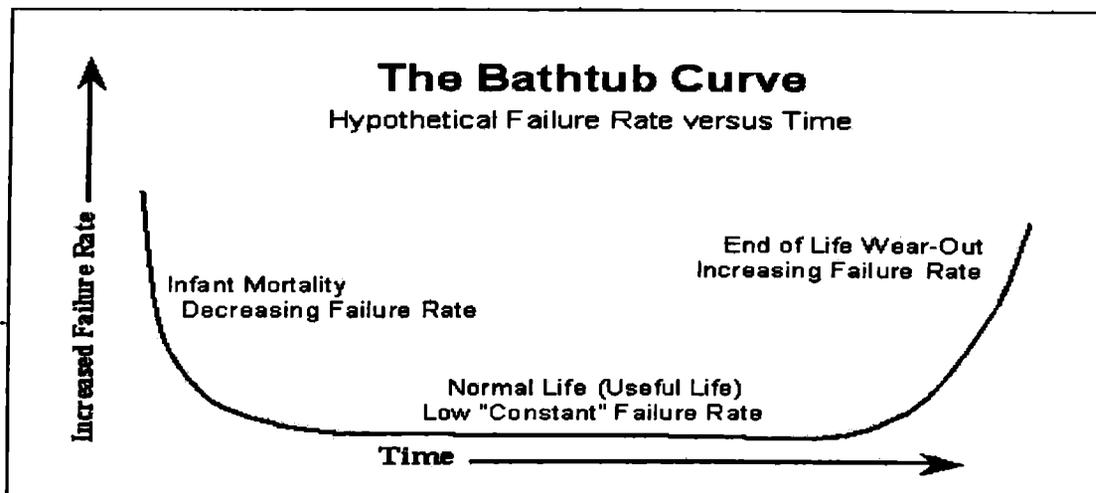
$$\lambda r(t)$$

- Si consideramos que r (t) tiende a un valor estable:  $\bar{r}(t)$ , la tasa de reemplazos tiende a

$$\lambda \bar{r}(t) = \bar{r}(t) / N$$

### 3.2.4 TASA DE FALLAS EN FUNCION DE LA EDAD

- Si ponemos en funcionamiento un N° suficientemente grande de componentes NUEVOS, y representamos la tasa de fallas  $\lambda(t)$  en función de la edad (T), tendremos la siguiente curva:



- **ZONA I:** Fallas de Fabricación - **PERIODO PRECOZ:** La población muestra una tasa de fallas alta que decrece. Surge del hecho que, en un lote inicial de componentes similares existen componentes por debajo del valor medio que no pueden soportar las solas citaciones. A medida que fallan, la tasa disminuye hasta quedar solamente los componentes denominados “normales”.

- **ZONA II:** Fallas Accidentales - **PERIODO UTIL:** Durante este período la tasa permanece prácticamente constante, pues se supone que todos los componentes son “normales”. Las fallas son accidentales y su probabilidad de supervivencia está dada por la denominada **LEY EXPONENCIAL:**

$$F(t) = e^{-\lambda t}$$

Independientemente de la edad  $T$ , donde  $\lambda$  es la tasa de fallas accidentales

- **ZONA III:** Fallas por desgaste (accidentales) - **PERIODO DE DESGASTE:** La tasa de fallas aumenta rápidamente mientras la probabilidad de supervivencia disminuye con la misma velocidad. Aparecen efectos de fatiga, uso, desgaste, creep, etc. Aparecen fallas accidentales, pero en su mayoría son por **DESGASTE**.

- **CONSECUENCIAS:**

Debemos tratar de mantenernos dentro del: Período **UTIL**, utilizando la menor cantidad de componentes que se encuentren dentro del: Período **PRECOZ**, tratando de retardar el ingreso al: Período de **DESGASTE**

- **ACCIONES:**

I) **ZONA I:** supervisando el proceso de fabricación se puede disminuir la cantidad de componentes “mediocres”. Al poner en servicio un sistema nuevo se producen fallas, pero a medida que se efectúan los reemplazos, el sistema ingresa en la **HIPOTESIS DE REPARACION PERFECTA:** luego de fallar el último componente débil, el sistema continúa operando con componentes “normales”

II) **ZONA II:** las fallas son accidentales: producen la detención brusca del funcionamiento del sistema, no precedida por signos de deterioro. Denominadas **FALLAS FRANCAS**, por oposición a las **FALLAS PROGRESIVAS** (evidenciadas por disminución de las performances, propagación de fisuras, etc.)

III) **ZONA III:** se manifiestan claramente los efectos de fatiga (envejecimiento por uso, sollicitaciones, etc.). Pueden aparecer fallas accidentales, pero la mayoría son por **Desgaste**. Al no efectuar el reemplazo oportuno de componentes que se aproximan al **LIMITE DE VIDA UTIL**, la fiabilidad del conjunto cae a valores inaceptables

### 3.3 TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS (M.T.B.F.)

Definimos de ésta manera al INTERVALO PROMEDIO QUE SEPARA DOS FALLAS ACCIDENTALES, también denominado: PROMEDIO DE LOS TIEMPOS DE BUEN FUNCIONAMIENTO (m). Como es un promedio: tiempo durante el cual podemos esperar que un componente funcione sin fallar.

- **CONCEPTUALMENTE:**

Podemos decir que (m) es el valor recíproco de la tasa de fallas

$$m = 1 / \lambda$$

Entonces la ecuación de fiabilidad:

$$F(t) = e^{-\lambda t} = e^{-t/m}$$

La fiabilidad será tanto mayor cuanto mayor sea m (o cuanto menor sea  $\lambda$ )

## 4- METODOLOGÍA:

### 4.1 ANALISIS DE DATOS (VIGILANCIA CONTINUA) DURANTE VIDA UTIL

La normativa aeronáutica vigente, exige que las empresas dedicadas al transporte aéreo comercial, organicen un sistema de VIGILANCIA CONTINUA, para ello implementaremos lo siguiente:

#### 4.1.1 MODO SEGUIMIENTO DIARIO: y DEFINIMOS:

4.1.1.1 **EVENTOS REPETITIVOS:** Permite detectar fallas repetitivas por equipo y por partes del mismo.

4.1.1.1.1 **EVENTO (FALLA) REPETITIVA:** cuando una misma falla ha sido reportada tres (3) veces en los últimos cinco (5) días para un determinado equipo y/o determinada parte del mismo. Cuando ésta situación se presenta, se genera un **REPORTE DE ALERTA DE REPETITIVIDAD**

**ACCION:** Cuando esto sucede, el sector encargado evalúa:

- Que la novedad que generó el alerta realmente sea del sistema (error en carga de datos)
- Que las novedades realmente estén relacionadas
- Tener en cuenta consideraciones en base a experiencia y/o análisis que permitan demostrar la validez del alerta.

- Cuando la validez del alerta se determina, el sector encargado genera las posibles acciones, soluciones y recomendaciones.

4.1.1.1.2 **FALLA CRÍTICA. ACCIDENTE/INCIDENTE:** Control de fallas asociadas con un sistema cuyo malfuncionamiento AFECTA DIRECTAMENTE LA SEGURIDAD: falla de componente con vida límite, etc., recibiendo igual tratamiento que el ACCIDENTE/INCIDENTE.

- El sistema de control tiene ingresado el **CODIGO DE FALLA CRITICA**

4.1.2 **MODO NO ESTADISTICO DE EVENTO SIGNIFICATIVO:** El objeto es detectar las novedades, surgidas ya sea del tratamiento diario como de las inspecciones menores/mayores (detectadas por mantenimiento/operaciones), cuyo tratamiento y calificación como EVENTO SIGNIFICATIVO será determinado por el sector encargado del análisis.

**DEFINICION:** toda aquella novedad no incluida en los otros modos de análisis.

4.1.3 **MODO ESTADISTICO DE MEDIANO Y LARGO PLAZO:** Permite evaluar el comportamiento en el tiempo de los parámetros bajo vigilancia, monitoreando la performance actual y su

tendencia, comparando con valores estándar adoptados (definiciones del punto 4.2). El sector encargado genera, en el período más conveniente, las diferentes condiciones de ALERTA y/o un INFORME DE INVESTIGACION DE ALERTA ESTADÍSTICO.

## 4.2 VALORES ESTÁNDAR

### 4.2.1 CONFIABILIDAD DE FLOTA

4.2.1.1 **RATE MENSUAL (R1Mi)**: cantidad de fallas en el mes “i”, de un sistema dado, por cada 1000 hs de utilización de la flota

$$R1Mi = 1000 \times \frac{\text{Cantidad de fallas en el mes "i"}}{\text{Hs utilizadas por la flota en el mes "i"}}$$

4.2.1.2 **RATE TRIMESTRAL (R3M)**: Media aritmética trimestral, móvil, de un sistema dado, por cada 1000 hs de utilización de la flota

$$R3Mi = 1000 \times \frac{R1Mi-2 + R1Mi-1 + R1Mi}{3}$$

R1Mi-2= rate mensual, mes pre-anterior al mes “i”

R1Mi-1= rate mensual, mes anterior al mes “i”

R1Mi = rate mensual, mes “i”

4.2.1.3 **LÍMITE SUPERIOR DE CONTROL (UPPER CONTROL LIMIT – UCL)**:

Es el valor límite de un rate tal que, si es superado, se genera un ESTADO DE ALERTA:

$$UCL = X \text{ medio} + 2 \text{ sigma}$$

X medio: promedio de los R1M de los últimos doce meses

Sigma: desvío standard de los R1M

4.2.1.4 **ALERTAS**:

- **AMARILLA**: cuando el R3M del mes considerado supera el UCL

- **ROJA**: cuando el R3M PERMANECE DOS MESES CONSECUTIVOS por encima del UCL (el del mes bajo análisis comparado con el del mes anterior)

### 4.2.2 CONFIABILIDAD DE COMPONENTES

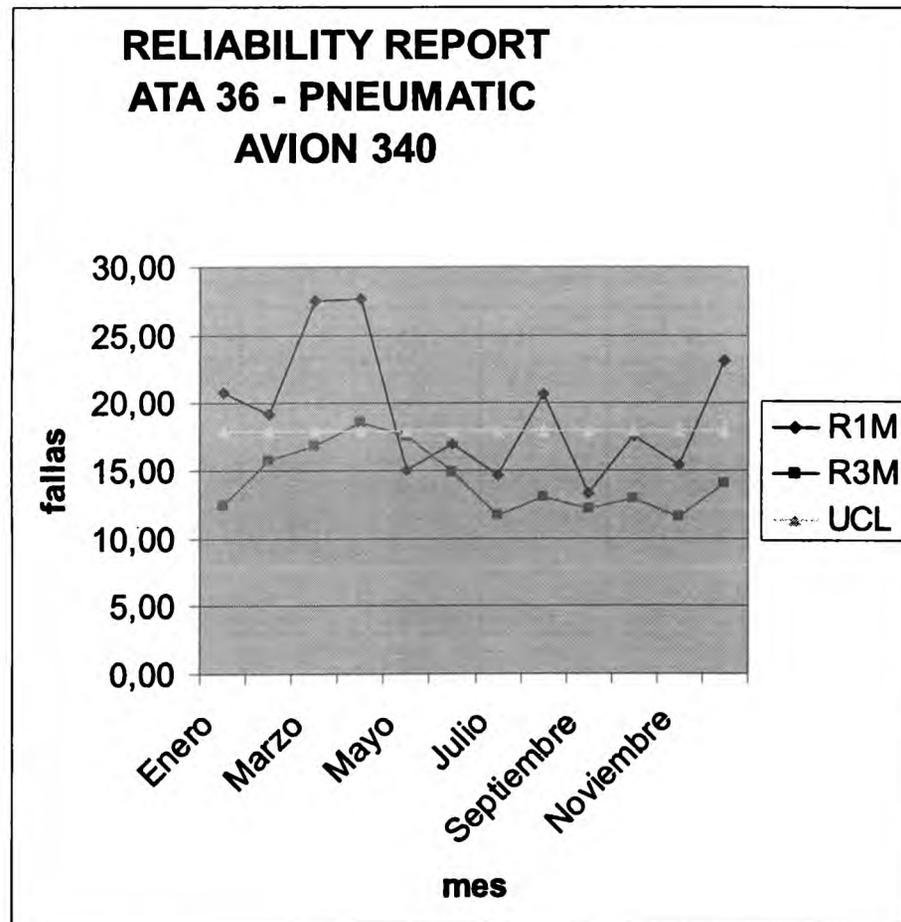
4.2.2.1 **RATE MENSUAL (R1Mi)**: Cantidad de fallas en el mes “i”, de un dado componente, por cada 1000 hs de utilización de la flota, teniendo en cuenta la cantidad de componentes (QPA) en cada equipo.

$$R1Mi = 1000 \times \frac{\text{Remociones por falla del componente en el mes "i"}}{\text{QPA x hs utilización flota en el mes "i"}}$$

4.2.2.2 Los valores **RATE TRIMESTRAL**, **LÍMITE SUPERIOR DE CONTROL (UCL)**, **ALERTAS AMARILLA** y **ROJA** : Conceptualmente se definen de igual manera que los índices de flota.

EJEMPLO:

<b>SISTEMA: ATA 36 : PNEUMATIC SYSTEM</b>					
<b>Mes/Indices</b>	<b>FALL</b>	<b>HS.</b>	<b>R1M</b>	<b>R3M</b>	<b>UCL</b>
Enero	9	432	20,83	12,46	18
Febrero	9	468	19,23	15,77	18
Marzo	12	436	27,52	16,90	18
Abril	9	325	27,69	18,61	18
Mayo	7	466	15,02	17,56	18
Junio	8	472	16,95	14,92	18
Julio	7	478	14,64	11,65	18
Agosto	10	485	20,62	13,05	18
Septiembre	6	450	13,33	12,15	18
Octubre	8	454	17,62	12,89	18
Noviembre	7	456	15,35	11,58	18
Diciembre	10	432	23,15	14,03	18



EJEMPLO: FRACAS (Failure Analysis and Corrective Action System) REPORT, generado por Fábriante



## **Canadair Regional Jet FRACAS Report**

---



**CSP-C-092**

**Issue 97-04**

**Quarterly Edition**

**Data Period: March 1997**

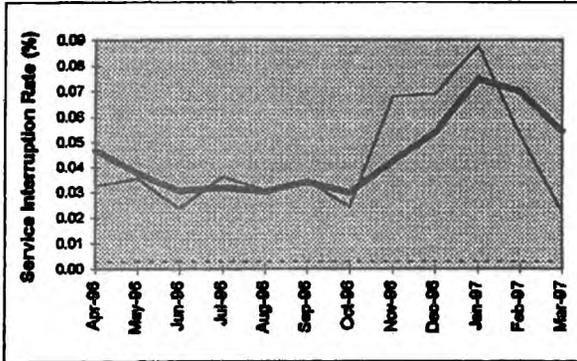
**Issue Date: 24 June 1997**

*FAILURE REPORTING, ANALYSIS and CORRECTIVE ACTION SYSTEM*

**EJEMPLO DE SISTEMAS: Rate Mensual, Trimestral y UCL:**

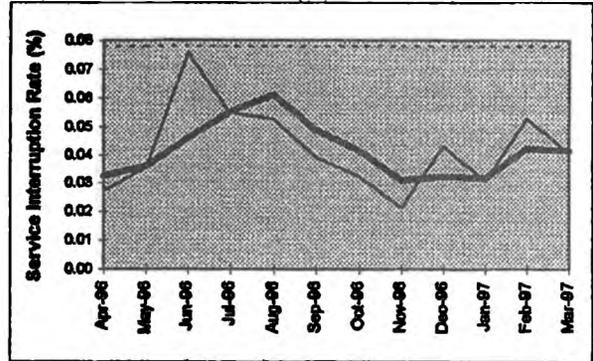
REGIONAL JET FRACAS REPORT - CSP-C-002 ISSUE 97-04 PAGE 14

**ATA 5210 - Doors, Passenger/Crew**



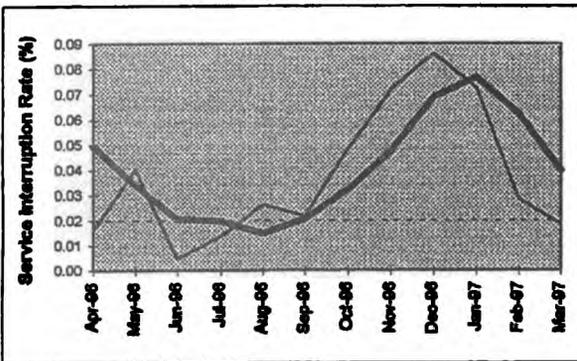
ATA	Description	Last 3	Prev 3	12 Mth
521103	Passenger Door	21	24	64
521104	Passenger Door Handle	12	5	25
521116	Passenger Door Seal	3	5	17
521124	Cable Assy	1	2	4
521101	Access Door	0	0	3
521106	Passenger Door Crank	0	1	1
521109	Gas Spring - Pax Door	1	0	1

**ATA 3260 - L Gear - Position & Warning**



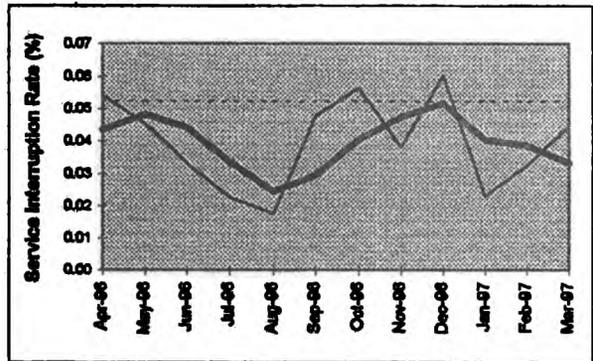
ATA	Description	Last 3	Prev 3	12 Mth
326102	Prox Sensor Electronic Unit	28	19	105
326101	Nlg Harness	1	2	3
326103	Mlg Harness	0	1	1
326108	Nlg Door Prox Switch	0	0	1
326109	Connector	0	1	1
326114	Harness Assy	1	0	1

**ATA 3250 - L Gear - Steering**



ATA	Description	Last 3	Prev 3	12 Mth
325202	Steering Actuator (Rh)	10	8	20
325109	Steer By Wire Ecu Unit	3	9	17
325112	Position Feedback Sensor	6	2	9
325105	Hand Control Steering Mod	1	2	8
325113	Solenoid Selector Valve	2	2	8
325201	Swivel Assy (Lh/Rh)	2	4	7
325104	Electro Hyd Servo Valve	1	2	6
325101	Nlg Shock Strut Module	0	0	1
325116	Pressure Switch	0	1	1

**ATA 3410 - Nav - Air Data Instrum.**



ATA	Description	Last 3	Prev 3	12 Mth
341301	Air Data (850) Computer	7	11	43
341201	Standby Alt/Airspeed Indic	3	15	24
341110	Pitot Static Probe	5	5	17
341114	Tube - Pitot To Cockpit	8	0	8
341117	Total Air Temp Sensor (Ta	1	1	5
341102	Size 4 Drain	1	1	3
341111	Static Port	1	0	1
341113	3Rd Pitot Static Probe	0	1	1
341302	Air Data Ref Panel	0	0	1

— Monthly Value    — 3-Month Moving Average    - - - - Target