



Proyecto Final de Ingeniería  
Industrial

POLÍTICAS Y COSTES DE  
MANTENIMIENTO DE AVIONES

Autor: Blanca Boulet

Tutor: Julio García Velasco

## MANTENIMIENTO DE AVIONES

## MANTENIMIENTO DE AVIONES

A mi familia y amigos por apoyarme en la decisión de venir a Buenos Aires a hacer el Proyecto Final de Carrera.

## MANTENIMIENTO DE AVIONES

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no se habría podido realizar sin la colaboración de muchas personas que me brindaron su ayuda. Por tanto, quiero agradecerles a todos ellos cuanto han hecho por mí, para que este trabajo saliera adelante de la mejor manera posible.

Especialmente, quisiera agradecer al Ing. Juan Aldo Burgio, Austral S.A., por la paciencia y el tiempo dedicado a resolver mis numerosas dudas sobre el mantenimiento de aviones. También al Ing. Álvaro Zerón y al Ing. Hernán Andrade, Aerolíneas Argentinas S.A., y José Luis Freire, Iberia, por toda la información proporcionada.

Finalmente, agradezco al Ing. Julio García Velasco, que me ha ayudado durante todos estos meses.

## MANTENIMIENTO DE AVIONES

### RESUMEN

El propósito de este proyecto fin de carrera es estudiar los procedimientos de mantenimiento en la industria de la aviación. En primer lugar, se describen los avances en los programas de mantenimiento de los aviones durante los últimos 50 años así como las razones de esa evolución. A continuación, se describe la situación actual del mantenimiento y problemas de mantenimiento inherentes a la industria de la aviación. Posteriormente, se describe la teoría general del mantenimiento preventivo, cómo se aplica para el mantenimiento de aviones y cómo se desarrolla y modifica el programa de mantenimiento. Más tarde, tres componentes son seleccionados para estudiar su mantenimiento más en profundidad. Después se estudia la influencia en el intervalo entre revisiones de varios parámetros tales como el ratio entre las horas de vuelo y los ciclos del motor, el despegue con empuje reducido, la temperatura del aire exterior y la vida de las piezas de vida limitada. Basándose en estos parámetros, se propone un programa de mantenimiento y formas de reducir los costos de mantenimiento. Finalmente, se describen tecnologías de última generación aplicable a la mejora del mantenimiento de aviones.

## MANTENIMIENTO DE AVIONES

### ABSTRACT

The purpose of this final career project is to study maintenance procedures in the aviation industry. First, the aircraft maintenance program developments during the last 50 years are described as well as the reasons for this evolution. Then, the actual situation of maintenance in the aviation industry is described: how maintenance companies are organized and maintenance problems inherent to the aviation industry. Afterwards, general preventive maintenance theory is described, how it is applied for aircraft maintenance and how the maintenance program is developed and modified. Later, three components are selected to study their maintenance deeper. Next, the influence of several parameters such as the engine flight hours to engine flight cycles ratio, the takeoff thrust rating, the outside air temperature and the life of life limited parts on the on-wing life is studied. Based on these parameters, a maintenance program is proposed and ways of reducing maintenance costs are proposed. Finally, state-of-the-art technologies are described.

## MANTENIMIENTO DE AVIONES

## Tabla de contenido

|          |                                                                            |           |
|----------|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUCCIÓN.....</b>                                                   | <b>13</b> |
| 1.1      | OBJETIVO .....                                                             | 13        |
| <b>2</b> | <b>EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO .....</b>                                   | <b>15</b> |
| 2.1      | PRIMERAS ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO .....                                | 15        |
| 2.2      | LOS PRIMEROS PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO ESTRUCTURADOS: MSG-1 Y MSG-2. .... | 16        |
| 2.3      | INTRODUCCIÓN AL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA FIABILIDAD (RCM) .....        | 17        |
| <b>3</b> | <b>SITUACIÓN ACTUAL.....</b>                                               | <b>19</b> |
| 3.1      | ORGANIZACIÓN DENTRO DE LA EMPRESA .....                                    | 19        |
| 3.1.1    | <i>Aerolíneas Argentinas S.A. ....</i>                                     | <i>19</i> |
| 3.1.2    | <i>Austral S.A. ....</i>                                                   | <i>22</i> |
| 3.2      | DESCRIPCIÓN DE LOS PROBLEMAS TÍPICOS DE MANTENIMIENTO.....                 | 23        |
| 3.2.1    | <i>Elección del tipo de mantenimiento.....</i>                             | <i>23</i> |
| 3.2.2    | <i>Programación de las tareas de mantenimiento .....</i>                   | <i>23</i> |
| 3.2.3    | <i>Mantenimiento subcontratado a un especialista.....</i>                  | <i>24</i> |
| 3.2.4    | <i>Complejidad de las tareas. Mano de obra.....</i>                        | <i>24</i> |
| 3.2.5    | <i>Mantenimiento legal.....</i>                                            | <i>24</i> |
| 3.2.6    | <i>Paradigma de la máxima disponibilidad.....</i>                          | <i>24</i> |
| 3.3      | TEORÍA DE MANTENIMIENTO: SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO .....         | 25        |
| 3.3.1    | <i>Mantenimiento predictivo.....</i>                                       | <i>25</i> |
| 3.3.2    | <i>Mecánica de aplicación de los trabajos.....</i>                         | <i>26</i> |
| 3.3.3    | <i>Mantenimiento preventivo vs correctivo.....</i>                         | <i>26</i> |
| 3.3.4    | <i>Resultados .....</i>                                                    | <i>26</i> |
| 3.4      | PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DE UN AVIÓN.....                                 | 27        |
| 3.4.1    | <i>Desarrollo programa mantenimiento.....</i>                              | <i>27</i> |
| 3.4.2    | <i>Paquetes de trabajo .....</i>                                           | <i>28</i> |
| 3.4.3    | <i>Modificación frecuencia inspecciones.....</i>                           | <i>30</i> |
| 3.4.4    | <i>Medición de la vida útil.....</i>                                       | <i>31</i> |
| 3.4.5    | <i>Listado de Equipamiento Mínimo (MEL).....</i>                           | <i>32</i> |
| 3.5      | SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES.....                                          | 32        |
| 3.5.1    | <i>Mantenimiento del tren de aterrizaje.....</i>                           | <i>33</i> |
| 3.5.2    | <i>Mantenimiento del Sistema de Entretenimiento a Bordo.....</i>           | <i>35</i> |
| 3.5.3    | <i>Mantenimiento de los motores.....</i>                                   | <i>36</i> |
| <b>4</b> | <b>PROPUESTAS.....</b>                                                     | <b>45</b> |
| 4.1      | ORGANIZACIÓN DEL ÁREA DE MANTENIMIENTO.....                                | 45        |
| 4.2      | PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DEL MOTOR.....                                   | 45        |
| 4.2.1    | <i>Factores influyentes.....</i>                                           | <i>45</i> |
| 4.2.2    | <i>Proposición de un Programa de Mantenimiento de Motores.....</i>         | <i>48</i> |
| 4.3      | REDUCCIÓN DE COSTES DE MANTENIMIENTO .....                                 | 53        |
| 4.3.1    | <i>Reducción del número de remociones.....</i>                             | <i>54</i> |
| <b>5</b> | <b>ESTADO DEL ARTE: MONITORIZACIÓN EN TIEMPO REAL.....</b>                 | <b>60</b> |
| 5.1      | AIRMAN (AIRBUS).....                                                       | 60        |

## MANTENIMIENTO DE AVIONES

|               |                                               |           |
|---------------|-----------------------------------------------|-----------|
| 5.2           | STAR-ISMS (ASTRIUM) .....                     | 61        |
| 5.3           | SENSORES QUÍMICOS .....                       | 61        |
| 5.4           | MONITORIZACIÓN DE ESTRUCTURAS. AISHA II ..... | 64        |
| <b>6</b>      | <b>CONCLUSIONES.....</b>                      | <b>66</b> |
| <b>ANEXOS</b> | <b>.....</b>                                  | <b>69</b> |
|               | ANEXO A: MOTOR CFM56-3 .....                  | 69        |
|               | ANEXO B: COSTES MANTENIMIENTO.....            | 69        |
|               | ANEXO C: MINUTAS ENTREVISTAS .....            | 70        |

## 1 INTRODUCCIÓN

En 1978 tuvo lugar la desregulación económica de las aerolíneas en Estados Unidos. Anteriormente las compañías aéreas estaban fuertemente reguladas en todo el mundo, creando un ambiente en el que los avances tecnológicos y las políticas gubernamentales estaban por delante de la rentabilidad y las políticas. Sólo después de la desregulación, la rentabilidad, la rentabilidad operacional y la conducta competitiva se han convertido en las principales cuestiones a tener en cuenta en la gestión de las compañías aéreas. Las estrategias y prácticas de gestión han cambiado radicalmente por la desregulación, la liberación y la competencia. La gestión de costes y mejora de la productividad se ha convertido en uno de los pilares fundamentales en la gestión de las compañías aéreas.

Pese a la liberación económica, la industria de la aviación sigue estando fuertemente regulada. Los gobiernos han mantenido la autoridad sobre todos los aspectos de seguridad; desde la certificación de nuevos aviones, los procedimientos de operación, formación y mantenimiento hasta el control del tráfico aéreo y los aeropuertos. Esto resulta en que la industria de la aviación sea uno de los sectores con mayor regulación.

Centrándose en el proceso de mantenimiento, toda aeronave debe tener el certificado de aeronavegabilidad. Las aerolíneas, independientemente de que realicen el mantenimiento propio o lo subcontraten, son las responsables de que sus aeronaves estén en condiciones de aeronavegabilidad. Para ello, deben elaborar un calendario de mantenimiento que identifique como, cuando, cada cuanto tiempo y que tareas de mantenimiento deben llevarse a cabo.

### 1.1 OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es estudiar el programa de mantenimiento actual de los aviones y proponer mejoras en el sistema. El programa de mantenimiento debe cumplir los siguientes objetivos:

- Asegurar que las aeronaves y sus equipos cumplen los niveles de seguridad y fiabilidad exigidos.
- Restablecer estos niveles cuando se produce un deterioro.
- Obtener la información necesaria para ajustar y optimizar el programa de mantenimiento.
- Conseguir los anteriores objetivos con el mínimo coste total posible
- Asegurar que las aeronaves estén disponibles cuando son necesarias

Para realizar el mantenimiento de una forma adecuada el programa de mantenimiento debe constar de tareas programadas para mantener los equipos y sistemas en condiciones de aeronavegabilidad; tareas no programadas para hacer frente a los fallos durante servicio; y

## MANTENIMIENTO DE AVIONES

un análisis y control continuo para optimizar y mejorar el programa de mantenimiento. Esto debe llevarse a cabo de modo que no se desperdicie tiempo, dinero o recursos humanos realizando tareas innecesarias o ineficientes sino que realice solamente el mantenimiento que es necesario y en el momento adecuado. Las tareas programadas deben agruparse en paquetes y realizarlas en momentos de inactividad de los aviones con el fin de minimizar la necesidad de tener que parar el avión para hacer el mantenimiento.

Si el programa de mantenimiento diseñado cumple los requisitos anteriores se espera que se consigan una reducción de los costes de mantenimiento y del tiempo que el avión debe estar parado.

## 2 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO

### 2.1 PRIMERAS ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO

Antes de la Segunda Guerra Mundial, el mantenimiento era una habilidad adquirida con la experiencia y raramente basada en teorías científicas. Los componentes de las aeronaves eran considerablemente sencillos, lo que los hacía fiables y de fácil mantenimiento. Se creía que la mayoría de los fallos eran causados por desgaste y rotura. Por lo tanto, la estrategia de mantenimiento más corriente era el mantenimiento correctivo, es decir, el mantenimiento se realizaba para restaurar el nivel de funcionalidad de los componentes.

A final de los años cincuenta empezó a haber componentes y sistemas más complejos. Su mantenimiento requería más tiempo de inactividad y recursos y por consiguiente los costes de mantenimiento eran altos y la disponibilidad se convirtió en un problema. Estos cambios provocaron que se buscara como prevenir los fallos. De esta manera se empezó a realizar mantenimiento preventivo. Basándose en el modelo de desgaste y rotura, se aceptó que cada componente tenía una edad determinada al final de la cual se realizaba una revisión o se desechaba para así poder garantizar su seguridad y operatividad. Se pensaba que todos los fallos podían ser prevenidos de esta forma y el mantenimiento preventivo basado en el tiempo se convirtió en la norma. Todos los componentes incluidos en el programa de mantenimiento preventivo eran revisados o reemplazados indiscriminadamente. La tasa de fallos aumentó rápidamente por lo que los costes de mantenimiento crecieron. Esto motivó a la industria aérea a buscar nuevos conceptos de mantenimiento preventivo. Basándose en el análisis de datos de fallos se averiguó que la probabilidad de fallo no aumentaba con el tiempo de funcionamiento y que los procedimientos de mantenimiento basados en el tiempo eran inefectivos para controlar la tasa de fallos de muchos componentes.

Durante la década de los años sesenta las compañías aéreas no eran capaces de controlar la tasa de fallos de ciertos modelos de motor. Lo que es más, debido a las continuas tareas de mantenimiento requeridas, se produjo una disminución considerable en la disponibilidad de las aeronaves. Los costes de explotación y mantenimiento aumentaron rápidamente sin que hubiera una mejora en la fiabilidad.

Para resolver los problemas mencionados anteriormente la FAA formó un grupo de trabajo que incluía representantes de la FAA y de American Airlines. El objetivo era evaluar la efectividad del mantenimiento basado en el tiempo, investigar la idoneidad del mantenimiento programado, y encontrar la relación entre este tipo de mantenimiento y la fiabilidad.

### 2.2 LOS PRIMEROS PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO ESTRUCTURADOS: MSG-1 Y MSG-2.

En 1965 United Airlines comenzó un trabajo de investigación para corroborar los resultados del grupo de trabajo creado por la FAA y facilitar una revisión sistemática que pudiera ser aplicada por lo general al diseño de la aeronave. De esta manera, a falta de experiencia, el mejor programa de mantenimiento se podía conseguir a través de un árbol de decisión lógico. Esta metodología fue usada para elaborar el programa de mantenimiento inicial del Boeing-747. Este documento fue publicado en 1968 por IATA bajo el nombre de “Boeing-747 Maintenance Steering Group (MSG) Handbook: Maintenance Evaluation and Program Development (MSG-1)”. Fue el primer intento de aplicar conceptos de mantenimiento basado en la fiabilidad.

MSG-1 es un procedimiento tipo “bottom-up” en el que los componentes son el nivel más alto a considerar. De acuerdo con este modelo, las tareas potenciales de mantenimiento asociadas a cada estrategia de mantenimiento eran seleccionadas y evaluadas a partir de criterios basados en la seguridad operacional o la protección de funciones esenciales ocultas. El resto de las tareas potenciales de mantenimiento eran evaluadas para determinar si eran económicamente viables.

MSG-1 introdujo tres procesos generales para clasificar los diferentes tipos de mantenimiento programado:

- Hard Time (HT): el componente se retira tras un tiempo de funcionamiento determinado.
- On-Condition (OC): revisión del componente en intervalos determinados para determinar su utilidad restante.
- Condition Monitoring (CM): monitorización del componente para programar las tareas de mantenimiento necesaria y así evitar su fallo.

La eficacia de la metodología MSG-1 resultó en la publicación de un segundo documento en 1970 que podía ser aplicado a cualquier aeronave nueva, el MSG-2. El objetivo de ambos metodologías era desarrollar un programa de mantenimiento programado que asegurara máxima seguridad y fiabilidad del componente al menor coste posible.

En la ilustración 2.1 se muestra un diagrama de decisión simplificado utilizado para elegir el tipo de mantenimiento de un componente. Una vez se decide que tipo de tarea se debe realizar se pasa a definir cada cuánto tiene que llevarse a cabo. Para ello hay que tener en cuenta la tasa de fallos y la tasa de remociones de cada elemento.

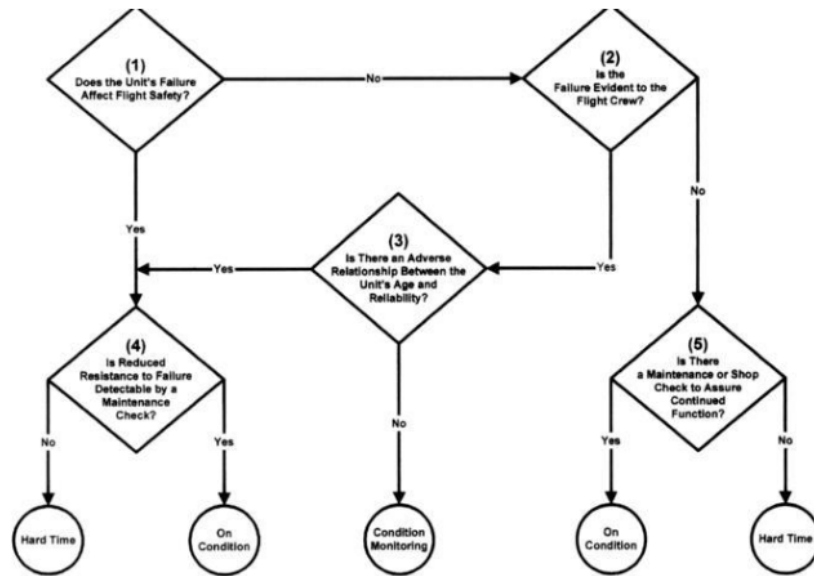


Ilustración 2.1 Diagrama de decisión MSG-2

## 2.3 INTRODUCCIÓN AL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA FIABILIDAD (RCM)

El mantenimiento centrado en la fiabilidad es una metodología basada en un proceso lógico de tomas de decisiones que es utilizado para identificar las políticas necesarias para controlar los modos de fallo que podrían causar el fallo funcional de algún componente físico en un contexto operativo determinado. Estas políticas son mantenimiento predictivo, mantenimiento preventivo o rediseño. Reducen el riesgo de pérdida de funcionalidad. Las principales diferencias con las anteriores metodologías son:

- Nivel de sistemas frente a nivel de componentes
- “Top-down” frente a “bottom-upm”
- Conservación de la función frente a prevención de fallos
- Orientado hacia las tareas frente a orientado hacia los procesos de mantenimiento
- Impulsado por las consecuencias de los fallos pues se consideran más importantes que sus características técnicas

En un proceso RCM, las consecuencias de cada fallo deben ser analizadas. Se debe separar claramente los fallos ocultos de los evidentes, y distinguir los sucesos que tienen consecuencias medioambientales, operacionales, económicas o para la seguridad. De esta manera, cada componente es tratado de forma diferente según su importancia relativa de acuerdo con la correlación entre el funcionamiento del equipamiento y del sistema.

La ilustración 2.2 muestra un diagrama de decisión simplificado correspondiente al proceso MSG-3.

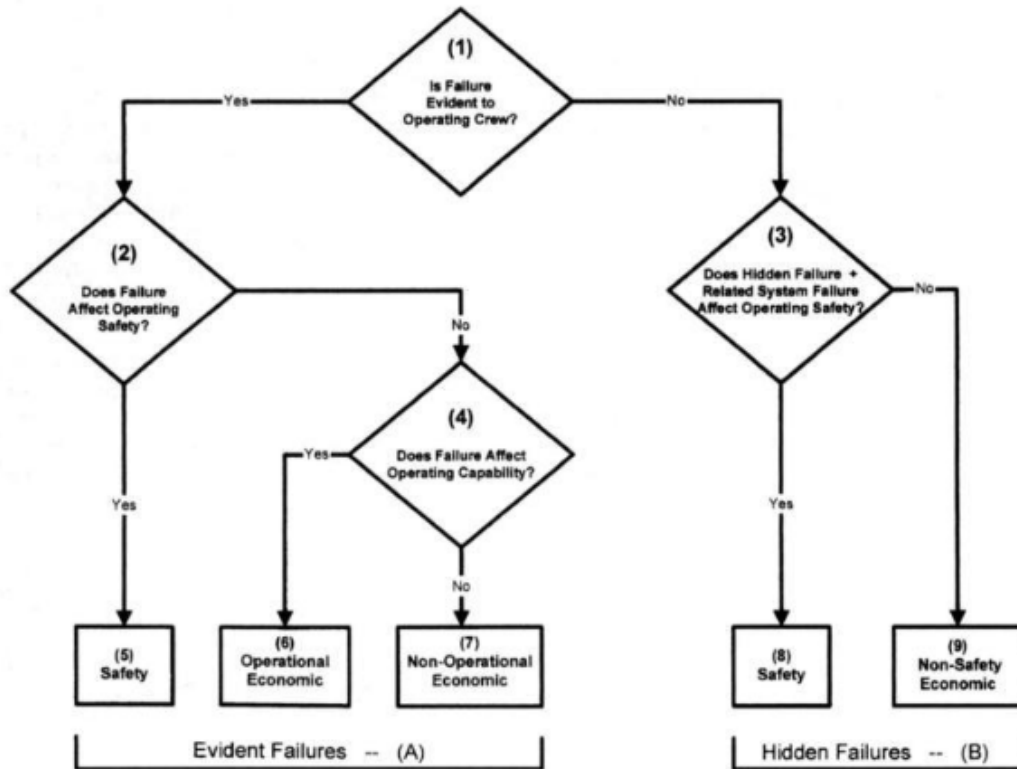


Ilustración 2.2 Diagrama de decisión MSG-3

### 3 SITUACIÓN ACTUAL

#### 3.1 ORGANIZACIÓN DENTRO DE LA EMPRESA

En el sector de la aviación comercial se exige un elevadísimo índice de confiabilidad en el funcionamiento de las aeronaves, debiéndose evitar al máximo la falla técnica. Para que esta exigencia de seguridad se respete se fijan normas internacionales de las que se derivan las internas de la propia empresa.

La Administración Nacional de Aviación Civil Argentina (ANAC), de acuerdo con lo expuesto en las Regulaciones Argentinas de Aviación Civil (RAAC) parte 121, exige que las compañías aéreas que ejecutan su propio mantenimiento y toda persona con quien acuerden la ejecución de ese trabajo deben tener una organización adecuada. Estas compañías deben contar con un Gerente Técnico, un Gerente de Calidad, un Gerente de Ingeniería y un Gerente de Producción o Mantenimiento.

##### 3.1.1 Aerolíneas Argentinas S.A.

A continuación se muestra el organigrama de Aerolíneas Argentinas S.A.

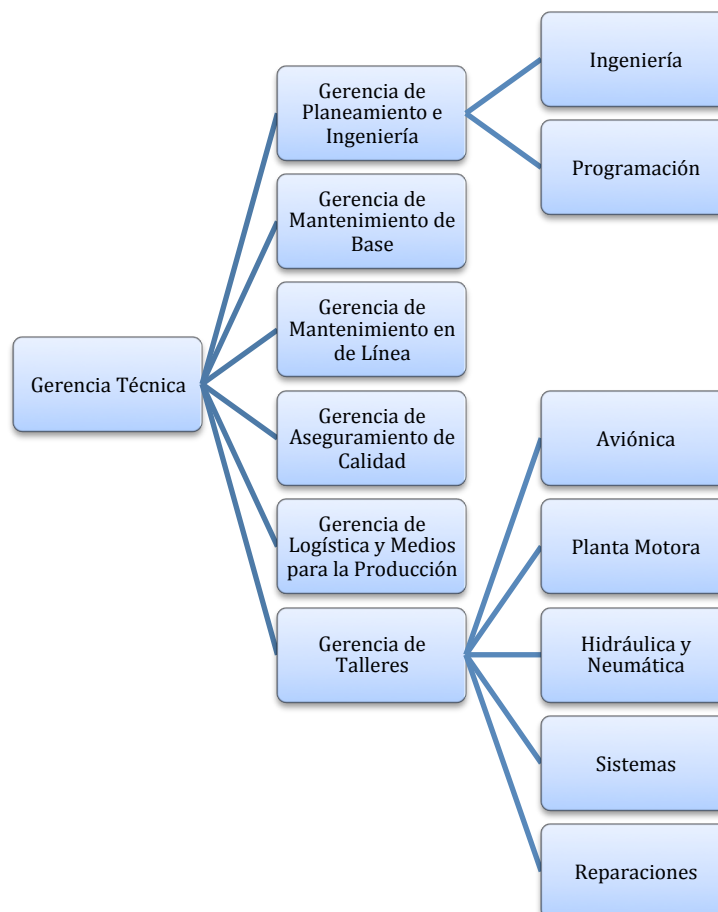


Ilustración 3.1 Organigrama Aerolíneas Argentina S.A.

## MANTENIMIENTO DE AVIONES

El Gerente Técnico reporta la Gerente General, por todas las operaciones de MNT-ARSA, incluyendo la administración de los recursos, la aplicación de las políticas adoptadas por la Empresa, y le adecuado mantenimiento de las facilidades físicas. Asume la función de responsable técnico frente a la Autoridad Aeronáutica. De él dependen las distintas gerencias.

El Gerente de Planeamiento e Ingeniería reporta jerárquicamente al Gerente Técnico sobre las acciones vinculadas a sus responsabilidades, entre las que se encuentran:

- Hacer cumplir las regulaciones que sean aplicables en las funciones bajo su conducción. En caso de surgir alguna duda en cuanto a la aplicación en lo anterior, el Gerente de Planeamiento e Ingeniería requerirá el asesoramiento necesario al Gerente de Aseguramiento de Calidad.
- Asegurar la vigencia y la distribución a los sectores de MNT-ARSA de las regulaciones Argentinas de Aviación Civil y documentos asociados y de los documentos técnicos emitidos por el fabricante o áreas de ingeniería de cada producto a procesar.
- Asistir a los sectores de MNT-ARSA en la correcta interpretación de los datos técnicos a emplear en los procesos, incluyendo la gestión de obtención de autorización del fabricante sobre uso de desviaciones propuestas en los datos técnicos del fabricante, orientados a una mayor seguridad y confiabilidad de los procesos técnicos y de los productos involucrados de la manera más eficiente.
- Administrar las bases de datos sobre anomalías detectadas en la aplicación de los programas de mantenimiento aprobados, que dan soporte a los programas de confiabilidad, y para respaldar las propuestas de cambios a dichos programas de mantenimiento.
- Organizar el cronograma de cuando los aviones entran en inspección y definir los paquetes de trabajos conforme los Programas de Mantenimiento y Libros de Componentes aprobados.

El Gerente de Mantenimiento (Base y Línea) reporta jerárquicamente al Gerente Técnico por las operaciones realizadas en la organización de MNT-ARSA, aplicables al mantenimiento, mantenimiento preventivo, alteraciones y reparaciones mayores sobre aeronaves. Entre sus responsabilidades se encuentran las siguientes:

- Hacer cumplir todas las regulaciones que sean aplicables en las operaciones bajo su conducción.
- Asegurar el mantenimiento de los equipos y herramientas en condiciones adecuadas de uso.
- Asegurar el mantenimiento de las condiciones ambientales de limpieza y orden en los sectores bajo su administración.

## MANTENIMIENTO DE AVIONES

- Asegurar que se disponga de equipamiento y personal en cantidad y calidad necesaria para realizar las operaciones bajo su conducción-
- Asegurar el adecuado manejo del producto aeronáutico bajo proceso, conforme los manuales del fabricante y/o documentos de ingeniería aceptados por la DA-ANAC.
- Coordinar y conducir las actividades de MNT-ARSA subcontractadas en las escalas de red de rutas de ARSA (aplicable sólo al Gerente de Mantenimiento Línea)

El Gerente de Mantenimiento Línea posee a su cargo la coordinación y conducción del sector mantenimiento mayor de cabotaje en las Instalaciones ubicadas en el Aeroparque Jorge Newbery, el cual depende de la Unidad de Mantenimiento Línea AEP.

El Gerente de Aseguramiento de Calidad reporta jerárquicamente al Gerente Técnico sobre todas las acciones vinculadas a sus responsabilidades, entre las que se encuentran:

- Establecer la coordinación entre MNT-ARSA y la Autoridad Aeronáutica u otros auditores externos en lo referente a la certificación, habilitación o autorización para realizar procesos de mantenimiento, alteraciones y reparaciones mayores.
- Hacer cumplir todas las regulaciones que sean aplicables en las funciones bajo su conducción.
- Establecer y coordinar con el Jefe de Ingeniería de Calidad los programas de Capacitación técnica destinados al personal conforme a las necesidades de cada sector.
- Asegurar que el personal esté certificado y/o habilitado para ejecutar o aprobar procesos sobre productos aeronáuticos.
- Asegurar el control del mantenimiento de la aptitud metrológica de las herramientas y equipos de precisión utilizados, que requieran calibración periódica.

El Gerente de Logística y Medios para la Producción reporta jerárquicamente al Gerente Técnico por todas las operaciones realizadas en MNT-ARSA aplicables a la logística y el mantenimiento de los medios de producción. Se ocupa del soporte del mantenimiento, son responsabilidades suyas:

- Iniciar pedidos de compra para mantener el stock de los equipos de apoyo a la producción
- Dirigir el procedimiento administrativo sobre trabajos para terceros, coordinando con las otras Gerencias su realización.
- Controlar la gestión logística y administración, dentro de la Gerencia Técnica, de las partes, herramientas o equipos que se envían a reparar o calibrar en talleres propios o de terceros.
- Controlar la gestión de disponibilidad de las herramientas y equipos necesarios para el mantenimiento de los productos que se procesan en MNT-ARSA. Asegurando

## MANTENIMIENTO DE AVIONES

que se tengan las herramientas necesarias (comprarlas, alquilarlas o fabricarlas) y que reciban un correcto mantenimiento.

- Llevar a cabo el control del sistemas de administración de pañoles y de proyectos de diseño de herramientas y equipos.
- Definir el paquete de herramientas necesario para las operaciones de mantenimiento y hacer el aviso correspondiente a los otros sectores para ver si están disponibles.
- Limpieza de interiores de cabina (cada 28 días)

El Gerente de Talleres reporta jerárquicamente al Gerente Técnico por todas las operaciones realizadas en MNT-ARSA aplicables al mantenimiento, mantenimiento preventivo, alteraciones y reparaciones mayores sobre componentes o partes del avión. Algunas de sus responsabilidades son:

- Asegurar el mantenimiento de los equipos y herramientas en condiciones adecuadas de uso.
- Asegurar la aplicación sobre Higiene y Seguridad Industrial durante las operaciones bajo su conducción.
- Asegurar que se disponga de equipamiento y personal e cantidad y calidad necesaria para realizar las operaciones bajo su conducción.
- Asegurar el adecuado manejo del producto aeronáutico bajo proceso, conforme los manuales del fabricante y/o documentos de ingeniería aceptados por la DA-ANAC.
- Trabajan para almacenes y los talleres de repuesto, su cliente interno es el avión.

Cada Taller tiene su propio Planeamiento, cuentan con su propia Oficina Técnica. Las cuales se encargan de generar los procesos y hacer análisis de incorporación de componentes. En caso de ser necesario son estas oficinas las que realizan el nexo entre los talleres y las distintas áreas de la Gerencia de Ingeniería.

### **3.1.2 Austral S.A.**

A continuación se muestra el organigrama de Aerolíneas Argentinas S.A.

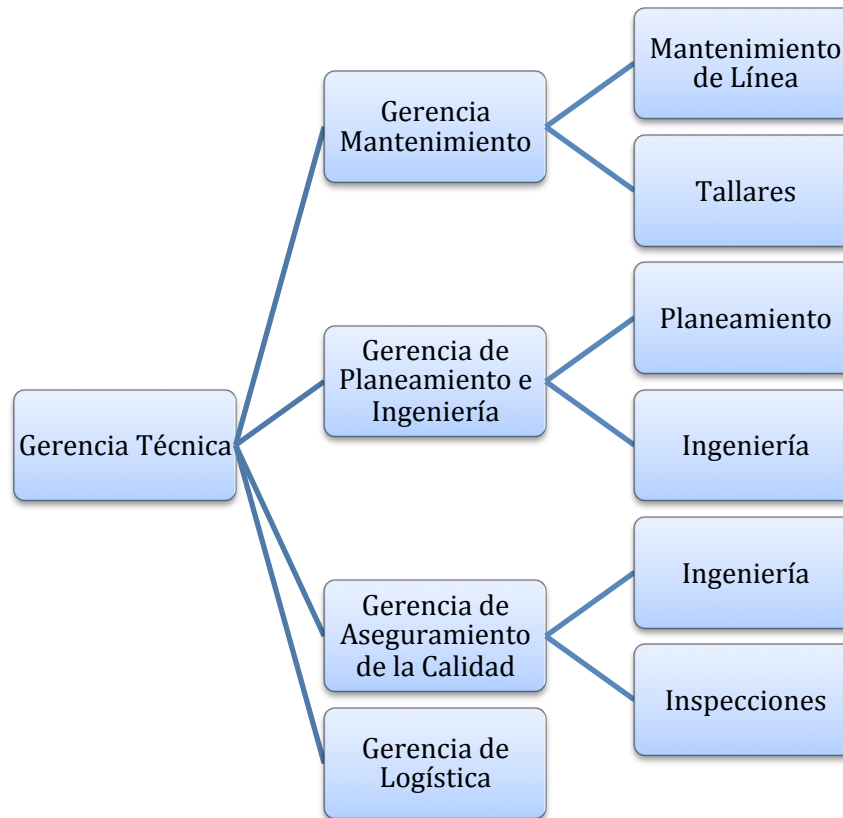


Ilustración 3.2 Organigrama Austral S.A.

Se puede observar que, al tratarse de una compañía más pequeña, Austral agrupa algunas de las responsabilidades de varias gerencias de Aerolíneas Argentinas en una sola gerencia. De esta manera, mientras en Aerolíneas cuenta con tres gerencias diferentes para Mantenimiento de Línea, de Base y Talleres, en Austral todo esto se encuentra agrupado en la Gerencia de Mantenimiento.

## 3.2 DESCRIPCIÓN DE LOS PROBLEMAS TÍPICOS DE MANTENIMIENTO

### 3.2.1 Elección del tipo de mantenimiento

Se pueden distinguir varios tipos de mantenimiento: correctivo, preventivo, predictivo, detectivo, etc. Generalmente, cada equipo estará formado por distintas partes que requerirán mantenimientos diferentes. La combinación más idónea estará dada por estrictas razones ligadas al coste de las pérdidas de producción en una parada de ese equipo, al coste de reparación, al impacto ambiental, a la seguridad y a la calidad del servicio, entre otras.

### 3.2.2 Programación de las tareas de mantenimiento

Todas las aeronaves comerciales deben ser inspeccionadas cada un determinado número de horas de vuelo. Debido a que el alcance de estas revisiones es muy extenso y podría tener la aeronave fuera de servicio durante un tiempo considerable se suelen agrupar las tareas

de mantenimiento en fases o paquetes para minimizar el tiempo que la aeronave está fuera de servicio. Estas fases son diseñadas de manera que se puedan realizar en los tiempos de inactividad de las aeronaves, por ejemplo durante la noche para los aviones de corto y medio radio o aprovechando escalas largas en los aviones de largo radio.

### ***3.2.3 Mantenimiento subcontratado a un especialista***

Se debe recurrir al especialista cuando no se tienen conocimientos suficientes o los medios necesarios. Si se dan estas circunstancias, algunas o todas las tareas de mantenimiento deberemos subcontratarlas a empresas especializadas.

El mantenimiento subcontratado a un especialista es en general la alternativa más cara, pues la empresa que lo ofrece es consciente de que no compite. Los precios no son precios de mercado, sino precios de monopolio. Debe tratar de evitarse en la medida de lo posible, por el encarecimiento y por la dependencia externa que supone. La forma más razonable de evitarlo consiste en desarrollar un Plan de Formación que incluya entrenamiento específico en aquellos equipos de los que no se poseen conocimientos suficientes, adquiriendo además los medios técnicos necesarios.

### ***3.2.4 Complejidad de las tareas. Mano de obra.***

El avión es un conjunto de sistemas de diversa naturaleza como son sistemas mecánicos, eléctricos, hidráulicos, etc. Conforme aumenta el nivel de complejidad técnica de los equipos a mantener aumenta también el grado de habilidad y preparación requerido a la mano de obra cuya responsabilidad será intervenir tanto en el diagnóstico como en la reparación de fallos.

### ***3.2.5 Mantenimiento legal***

De todos los modos de transporte, la industria de la aviación es uno de los sectores con mayor regulación; desde el diseño de los vehículos, pasando por el proceso de producción hasta su operación y mantenimiento. La mayoría de los equipos de los aviones están sometidos a normativas o a regulaciones por parte de la Administración. La Administración exige la realización de una serie de tareas, pruebas e inspecciones. Estas tareas deben necesariamente incorporarse al Plan de Mantenimiento del equipo, sea cual sea el modelo que se decida aplicarle.

### ***3.2.6 Paradigma de la máxima disponibilidad***

El mantenimiento debe garantizar la disponibilidad de las funciones, no de los equipos. Es decir, no importa la máxima disponibilidad sino el nivel de disponibilidad suficiente para que el funcionamiento del avión productivo no se vea interrumpido o afectado de ninguna forma. Si se busca conseguir la máxima disponibilidad podría generarse un elevado e innecesario nivel de gastos.

### 3.3 TEORÍA DE MANTENIMIENTO: SISTEMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo es la ejecución planificada de un sistema de inspecciones periódicas, cíclicas y programadas, y de un servicio de trabajos de mantenimiento previstos o detectados como necesarios.

El sistema de inspecciones se establece mediante análisis técnico-operativo. Su objetivo es la detección precoz de estados o condiciones anormales, físicas o de funcionamiento, que puedan ocasionar paros o deterioro grave del equipamiento.

El servicio de trabajos de mantenimiento, consiste en el cuidado y ajustes periódicos del equipamiento y en trabajos de reparaciones detectados y solicitados por el servicio de inspección, adecuadamente programados para permitir la máxima producción.

Los trabajos de mantenimiento que son periódicos se cumplen durante la ejecución de la inspección o se programan periódicamente. Los trabajos de mantenimiento que son de corrección de ítems observados como anormales durante la inspección pueden cumplimentarse en el mismo momento que se efectúa la misma o se programan para el momento más oportuno, dependiendo de la criticidad del componente. Para tomar esta decisión hay que consultar el listado de equipamiento mínimo, si el componente está incluido en él, o el manual de mantenimiento del avión.

El concepto de sistema no se refiere solamente a las inspecciones de mantenimiento sino que también se incluye la programación de los trabajos necesarios, la preparación previa de herramientas y material a utilizar en las tareas, la asignación anticipada del tipo y cantidad de mano de obra, capacitación adecuada del personal, control de los resultados, investigación de fallas técnicas repetidas, corrección correspondiente, etc.

El fin del mantenimiento preventivo es determinar qué es lo que hay que hacer y cuándo hay que hacerlo. Así se conocen anticipadamente los requerimientos de mano de obra, disponibilidad del equipo para los trabajos de mantenimiento y oportunidad de realización de los mismos.

#### 3.3.1 *Mantenimiento predictivo*

Es un aspecto muy importante del mantenimiento preventivo. Un gran porcentaje de fallas técnicas están precedidas por variaciones de los parámetros de actuación o mecánicos de los equipos indicadoras de que estas fallas se van a producir. Usando e interpretando correctamente estas indicaciones se puede determinar cuándo un equipo está llegando a su particular límite de vida de utilización confiable y debe ser desarmado para su reparación o reacondicionamiento. El sistema de inspección de mantenimiento preventivo, los límites de vida útil y el estudio de la tendencia de variación de los parámetros de actuación y mecánicos son la esencia del mantenimiento preventivo.

En lo que sea posible no se debe ordenar la realización de tareas correctivas de carácter preventivo a plazo fijo y periódico mientras no se conoce la necesidad real y efectiva de tal

periodicidad. Así se tiene la certeza que el elemento ha sido usado hasta el máximo límite seguro de sus posibilidades.

Hay tres conceptos que son la base y que regulan el régimen de estructuración de los trabajos del mantenimiento preventivo:

- Periodo de habilitación entre inspecciones.
- Limite de vida útil en servicio.
- Control técnico de rendimiento por variación de parámetros de performance.

La vida útil o la periodicidad de inspecciones para el equipo industrial “avión” se mide por cantidad de aterrizajes.

El control de la variación de ciertos parámetros de performance permite conocer el estado de desgaste, deterioro o anormalidad funcional de un equipo y preventivamente decidir su oportuna corrección.

Mediante la aplicación de estos tres conceptos, se trata de corregir a tiempo las posible fallas que podrían producirse en el futuro y no reparar las mismas con carácter de emergencia una vez que se han producido.

### ***3.3.2 Mecánica de aplicación de los trabajos***

Durante el cumplimiento del ciclo de vida útil la unidad bajo el sistema de mantenimiento preventivo es objeto de la aplicación del régimen de inspecciones periódicas de detección y los trabajos previstos o que se evidencien como necesario para asegurar el logro de aquel límite de vida útil.

Al término del limite de vida útil de cada unidad se realizan tareas de mantenimiento que consisten en la realización de una recorrida general para la restauración a “0 horas de funcionamiento” de la capacidad y calidad de la producción que elabora el equipo productivo

### ***3.3.3 Mantenimiento preventivo vs correctivo***

Respecto a que equipos requieren mantenimiento preventivo y cuáles no, un estudio técnico-económico que compare el costo operativo/productivo de esos equipos bajo un adecuado sistema de mantenimiento preventivo con el costo de su utilización a rotura, con reparación o reposición del mismo cuando ello ocurra, será el mejor elemento para tomar la decisión.

En general no requiere mantenimiento preventivo todo aquel equipo cuyo costo de reposición es menor que su costo de reparación más los costos asociados.

### ***3.3.4 Resultados***

Con un buen sistema de mantenimiento preventivo se consigue la minimización del costo total de mantenimiento. La reducción de costos fundamentalmente se produce con la

disminución de trabajos de mantenimiento correctivo “por demanda”. Estos trabajos son aquellos que no han sido detectados precozmente y cuya realización urgente, no programada, es indispensable para que la aeronave pueda volar.

### 3.4 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DE UN AVIÓN

El diseño y cálculo de aviones se realizan de manera que se pueda asegurar que la aeronave volará el tiempo de vida proyectado. Sin embargo, a lo largo del tiempo en servicio de la aeronave, está previsto que se cumplan una serie de revisiones que aseguren su buen estado y aptitud para volar.

#### 3.4.1 *Desarrollo programa mantenimiento*

El desarrollo del programa de mantenimiento para las aeronaves es normalmente tarea de una Organización de Ingeniería. Se debe realizar un estudio de requerimientos mandatorios establecidos por el fabricante y la autoridad aeronáutica que incluyen:

- Hojas de datos del certificado de tipo (TCDS)
- Reporte de la Junta de Revisión de Mantenimiento (MRBR)
- Documento del Planeamiento del Mantenimiento (MPD)
- Capítulo 5 del Manual de Mantenimiento del fabricante
- Limitaciones de vida
- Programa para el Control y la Prevención de la Corrosión (CPCP)
- Programa de Envejecimiento Estructural (Aging Program)
- Requisitos de Certificación de Mantenimiento (CMR's)

Además el operador deberá analizar la configuración actual de la aeronave: especificación de tipo, estado de directivas de aeronavegabilidad, directivas de aeronavegabilidad incorporadas previamente, y el estado de reparaciones y modificaciones.

A partir de estos documentos se divide el trabajo en paquetes de trabajo apropiados, identificando las tareas a realizar, los intervalos en lo que serán realizados y la mano de obra requerida para cada tarea.

En la siguiente tabla se muestran los paquetes de trabajo para una aerolínea de tamaño medio típica (HV representa horas de vuelo).

## MANTENIMIENTO DE AVIONES

|                                                 | 747-400                                                                                      | 747-200/300                                                                                | DC-10-30                                                  | A300B4                                                           |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| <b>Inspección de tránsito</b>                   | En cada parada siempre que la aeronaves esté en tránsito                                     |                                                                                            |                                                           |                                                                  |
| <b>Inspección diaria</b>                        | Antes del primer vuelo o cada vez que el avión esté en suelo más de 4h                       |                                                                                            |                                                           |                                                                  |
| <b>Inspección "A"</b>                           | Cada 600 HV                                                                                  | Cada 500HV o 7 semanas                                                                     | En tres partes<br>1A, 2A, 3A<br>cada 465HV<br>u 8 semanas | En cuatro partes<br>1A, 2A, 3A, 4A<br>cada 385HV<br>o 11 semanas |
| <b>Inspección "B"</b>                           | En dos partes<br>1B,2B<br>cada 1200HV                                                        | En dos partes<br>1B, 2B<br>cada 200HV                                                      | No                                                        | No                                                               |
| <b>Inspección "C"</b>                           | En dos partes<br>1C, 2C<br>cada 5000HV o<br>18 meses                                         | Cada 4659HV<br>o 24 meses                                                                  | En dos partes<br>1C, 2C<br>cada 4500HV<br>o 20 meses      | En dos partes<br>1C, 1C<br>cada 3000HV<br>o 18 meses             |
| <b>Inspección "D"<br/>/ Mantenimiento Mayor</b> | Primera<br>inspección entre<br>25000 y 27500HV<br>Las siguientes<br>cada 25000HV<br>o 6 años | Primera inspección<br>en 25000HV<br>o 6 años<br>Las siguientes cada<br>20000HV<br>o 5 años | Cada<br>20000HV<br>o 6 años                               | Cada 12000HV<br>o 4 años                                         |

**Tabla 3.1 Revisiones para diferentes modelos de avión**

Algunos documentos de los fabricantes no especifican las inspecciones B. Sin embargo, las compañías aéreas pueden nombrar sus propias inspecciones o las existentes con el nombre y letra que deseen.

La Organización de Planeamiento debe tener en cuenta estos paquetes de trabajo para planificar, programar y ajustar el trabajo para cada inspección y cada aeronave, añadiendo cualquier tarea según sea necesario.

### **3.4.2 Paquetes de trabajo**

Como se puede observar en la tabla 3.1, las tareas de mantenimiento están agrupadas en paquetes de trabajo atendiendo a los intervalos entre revisiones. Las aerolíneas pueden establecer sus propios intervalos siempre y cuando se mantenga la integridad de los requisitos de las tareas de mantenimientos originales o reciban la aprobación de la autoridad aeronáutica correspondiente para realizar cambios. No obstante dentro del programa MSG-3 se han definido varias revisiones que se consideran estándar. Dichas revisiones estándar son: revisiones en tránsito, revisiones de 48 horas; y revisiones A, B, C y D.

### 3.4.2.1 Revisiones en tránsito

Las revisiones en tránsito se realizan después del aterrizaje y antes del próximo vuelo; también se realizan cada día antes del primer vuelo. Consiste en una revisión del nivel de aceite y una inspección visual general para comprobar que no hay fugas de fluidos, paneles sueltos o desperfectos en las superficies de control y la antena. Si se encuentra cualquier falta, la acción resultante será mantenimiento no programado. Hay que tener en cuenta que para que la medición del nivel de aceite sea válida deber ser revisado entre cinco y treinta minutos después del apagado de los motores. Por lo tanto no se puede realizar antes del primer vuelo del día.

### 3.4.2.2 Revisión de 48 horas

Las inspecciones de 48 horas, en la mayoría de los modelos de avión, sustituye a lo que se solía llamar revisión diaria. Incluye la revisión de componentes más en detalle que la revisión en tránsito como por ejemplo ruedas y frenos; el nivel de aceite de la unidad auxiliar de potencia (APU); el nivel del fluido hidráulico y el generador de arrastre integrado (IDG).

### 3.4.2.3 Revisiones A, B, C y D

Las revisiones A son generalmente rutinarias. A la vez que se realiza la revisión A también se pueden realizar otras tareas menores.

Las revisiones B, si son utilizadas, suelen ser similares a las revisiones A pero implican tareas de mantenimiento diferentes, generalmente en intervalos que quedan entre revisiones A consecutivas.

La revisión C se realiza más o menos un vez al año, dependiendo del programa de vuelos de la aerolínea. Generalmente, se tarda de 4 a 7 días en completar una revisión C. La inspección consta de tres tipos de tareas:

- Rutinarias: son aquellas tareas establecidas en el Informe de la Junta de Revisión de Mantenimiento (MRBR). Son tareas que deben realizarse en los intervalos especificados. Puesto que no todos las tareas se deben realizar cada inspección C sino que puede ser cada dos, cada tres, etc., el tiempo requerido para cada revisión programada varía de una vez a otra.
- De rutina variable: son aquellas tareas que varían de una inspección a otra y de un avión a otro. Incluyen la incorporación de directrices de aeronavegabilidad, tareas aplazadas y cualquier otra acción individual de mantenimiento que sea requerida para una aeronave en concreto.
- No rutinarias: aquellas tareas que se deben realizar como consecuencia de realizado una tarea rutinarias. Por ejemplo, una tarea rutinaria consiste en inspeccionar la zona de las ruedas para ver si hay fugas. Si se descubre una fuga habrá que abordar el problema, lo que llevará tiempo no programado.

La revisión D es la más exhaustiva y compleja; se desmonta el avión casi por completo. Se quita la pintura, se desmontan los motores, los trenes de aterrizaje y otros elementos que se revisan a parte, corrigiendo cualquier anomalía y sustituyendo lo que sea necesario (bien porque esté defectuoso o por cumplir plazos de normativa). Una vez terminadas todas la tareas se vuelve a montar todo otra vez, se pinta, se colocan los asientos y el mobiliarios de cabina y se realizan las pruebas de vuelo para comprobar la respuesta de los sistemas ante situaciones de emergencia. Después de esta revisión se considera el avión con cero horas de vuelo, como recién salido de la fábrica. Debido a que el avión puede llegar a estar un mes o algo más fuera de servicio esta revisión recibe el nombre de “Gran Parada”

## Inspecciones múltiples

Dentro de las inspecciones A, B y C hay tareas que se realizan cada dos, cada tres, etc. inspecciones. Esto significa que, dependiendo de en que punto del ciclo de mantenimiento se encuentre la aeronave, las tareas incluidas en dichas inspecciones serán diferentes y por lo tanto requerirán diferente cantidad de tiempo, material, mano de obra, etc.

En la tabla 3.2 se muestra un patrón típico de inspecciones múltiples A. Las revisiones A se realizan cada 300 horas, de esta manera las tareas incluidas en la revisión 1A se realizan cada 300 horas; las incluidas en la revisión 2A, cada 600 horas; las incluidas en la revisión 3A, cada 900; las incluidas en la revisión 4A, cada 1200 horas; y las incluidas en la revisión 5A, cada 1500 horas. La revisión C se realiza cada 3000 horas.

| Revisión | 300 | 600 | 900 | 1200 | 1500 | 1800 | 2100 | 2400 | 2700 | 3000 | 3300 |
|----------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1A       | x   | x   | x   | x    | x    | x    | x    | x    | x    | x    | x    |
| 2A       |     | x   |     | x    |      | x    |      | x    |      | x    |      |
| 3A       |     |     | x   |      |      | x    |      |      | x    |      |      |
| 4A       |     |     |     | x    |      |      |      | x    |      |      |      |
| 5A       |     |     |     |      | x    |      |      |      |      | x    |      |
| C        |     |     |     |      |      |      |      |      |      | x    |      |

Tabla 3.2 Patrón de inspecciones múltiples A

## Inspecciones en fases

Las inspecciones A, B, C y D pueden ser divididas en varias partes, desempeñadas en noches consecutivas, para minimizar el personal de mantenimiento y el tiempo requerido. Por ejemplo, el lado derecho del avión puede ser realizado en la primera fase, revisión A1, y el lado izquierdo en la segunda fase, revisión A2. Si una revisión C tuviera que hacerse una vez al año, podría dividirse en cuatro fases (C1, C2, C3 y C4) y llevar a cabo una cada tres meses.

### 3.4.3 Modificación frecuencia inspecciones

Muchas veces las condiciones de operación requieren que el operados altere el programa de mantenimiento. Por ejemplo, las aeronaves que operan en climas cálidos y húmedos pueden requerir que las inspecciones y controles contra la corrosión se realicen con mayor

frecuencia que lo estipulado en el MRB. En cambio, si la misma aeronave opera en un clima seco se puede reducir la frecuencia de dichas inspecciones.

Los pasos a seguir para cambiar la frecuencia de las inspecciones son:

1. Relevar todos los resultados de las inspecciones en taller (después de cada remoción planificada) con el objetivo de poder analizar si se han producido anomalías, fallas, roturas, deterioro, etc.
2. Calcular el promedio de los tiempos entre remociones con fallas. Comparar el valor calculado con la media mundial u otro dato representativo provisto por el fabricante u otros operadores.
3. Si se demuestra que los tiempos promedios son superiores a la media comparada significa que el programa de mantenimiento funciona y que el elemento en estudio tiene buena confiabilidad.
4. Se consulta a los fabricantes para obtener una NTO (No Technical Objection) que sirva de respaldo a los cálculos realizados.
5. Solicitud de la reducción de frecuencia de inspecciones (extensión del tiempo entre inspecciones) a la autoridad aeronáutica correspondiente.

Hay componentes que pueden tener un buen promedio de tiempo entre remociones pero con gran impacto si falla; en estos casos se realizan análisis integrales de confiabilidad que pueden tener mayor relevancia que el cálculo del promedio. Los análisis de confiabilidad incluyen análisis del tipo de falla, impacto en la aeronavegabilidad, etc..

### *3.4.4 Medición de la vida útil*

La frecuencia de inspecciones de un componente puede estar determinada por las horas de funcionamiento o el número de ciclos de trabajo.

Las inspecciones limitadas por horas de funcionamiento se utilizan para los componentes y sistemas que funcionan de manera continua durante el vuelo o en el suelo; como por ejemplo los motores o el sistema de control de vuelo.

Mientras que las inspecciones limitadas por el número de ciclos de trabajo se utilizan para sistemas cuyo funcionamiento depende del número de vuelos que realice la aeronave y por lo tanto del programa de vuelos. Entre dichos sistemas se incluyen los neumáticos, los frenos, el tren de aterrizaje y las partes de la estructura del fuselaje que están sometidas a tensiones cíclicas. Los ciclos de trabajo se miden por la cantidad de aterrizajes. Están formados por rodaje de salida, despegue, ascenso inicial, crucero, descenso, aterrizaje y rodaje de entrada. En la ilustración 3.3 se muestra dicho ciclo de trabajo.

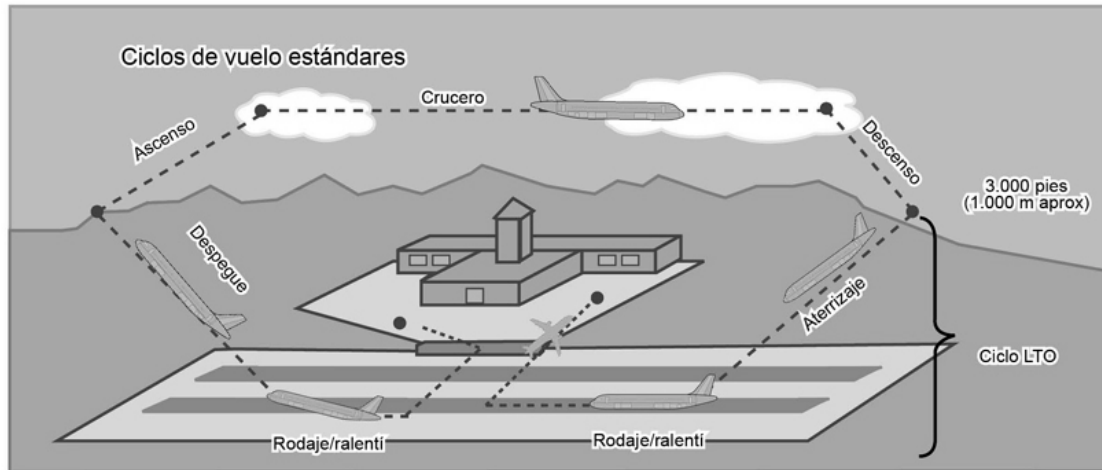


Ilustración 3.3 Ciclo de trabajo de una aeronave

### 3.4.5 Listado de Equipamiento Mínimo (MEL)

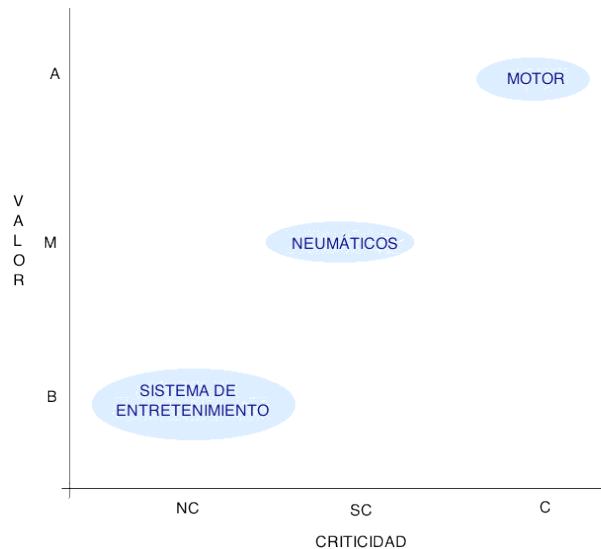
El Listado de Equipamiento Mínimo es emitido por los fabricantes y adaptado por cada operador de acuerdo con sus políticas operativas, rutas, regulaciones, etc. Es un listado del equipamiento mínimo requerido, está compuesto por cada uno de los elementos que afectan a la aeronavegabilidad de la aeronave. También indica los plazos de reparación de estos equipos. Todas las reparaciones o reemplazos deben ser programados de acuerdo a las directrices del MEL.

Para todos los componentes restantes del avión que no estén en esta lista se sigue el manual de mantenimiento del avión. En dicho manual se especifican los límites de desgaste en servicio que deben ser utilizados al momento de definir el reemplazo de cada componente, si estos límites están superados el elemento tiene que ser reemplazado antes del próximo vuelo.

## 3.5 SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES

Como se ha visto anteriormente, el avión es un conjunto de sistemas de distinta naturaleza, está compuesto por muchos componentes diferentes y no todos requieren las mismas tareas de mantenimiento. El estudio del mantenimiento completo de un avión es una tarea que se sale del alcance de este trabajo. Para intentar abarcar el mayor rango posible se van a estudiar tres componentes que requieran tipos de mantenimiento diferentes. Para hacer la selección de los componentes se utiliza una matriz de criticidad frente a valor como la que se muestra en la ilustración 3.4.

## MANTENIMIENTO DE AVIONES



**Ilustración 3.4 Matriz de criticidad**

De esta manera se ha elegido estudiar el mantenimiento de la planta motora, los neumáticos del tren de aterrizaje y el sistema de entretenimiento a bordo.

Los motores, debido a que son elementos críticos para el correcto y seguro funcionamiento de la aeronave, se exige un elevadísimo índice de confiabilidad en su funcionamiento, debiéndose evitar al máximo la falla técnica. Los límites de vida para este componente son relativamente bajos y las frecuencias de inspecciones elevadas. El mantenimiento correctivo debe ser reducido al mínimo posible pues el índice de confiabilidad debe ser elevado. El porcentaje de mantenimiento preventivo es elevado.

En el otro extremo, el sistema de entretenimiento a bordo no es un elemento crítico en el funcionamiento de la aeronave pero es importante pues puede dañar la imagen de la aerolínea.

### ***3.5.1 Mantenimiento del tren de aterrizaje***

El tren de aterrizaje es un componente importante pues asegura que el aterrizaje se realice de forma segura y sin causar daños al avión o la pista de aterrizaje. El tren de aterrizaje de los aviones comerciales grandes está constituido por el tren de aterrizaje principal (MLG) y el tren de aterrizaje de morro (NLG), como se puede ver en la ilustración 3.5.



Ilustración 3.5 Tren de aterrizaje

Las ruedas de los trenes de aterrizaje están sometidas a condiciones de servicio muy severas; cargas elevadas y altas velocidades. Por lo tanto, las tareas de mantenimiento y técnicas de operación deben ser más estrictas que en otros medios de transporte. Esto se puede observar en la ilustración 3.6.

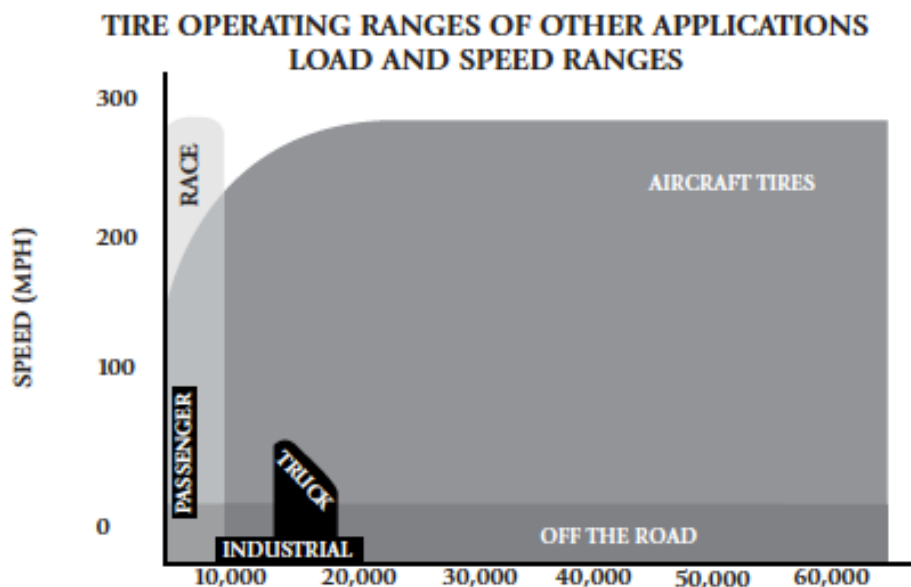


Ilustración 3.6. Rangos de operación de neumáticos según aplicación

El Programa de inspección de los conjuntos de ruedas se determina en base a las recomendaciones del fabricante expuestas en el Manual de Mantenimiento de Componentes de cada una de las unidad, conjuntamente con la experiencia y datos adquiridos por el Operador.

## MANTENIMIENTO DE AVIONES

Actualmente el mantenimiento de las ruedas del tren de aterrizaje es de tipo Hard Time para las llantas y On Condition para las cubiertas. Por recibir un mantenimiento tipo On Condition, las cubiertas se inspeccionan como mínimo entre vuelos y durante la inspección diaria y se reemplazan cuando se observa que están deterioradas o gastadas. Por otro lado, el mantenimiento de las llantas es de tipo Hard Time, es decir, tras un tiempo de funcionamiento determinado se retira el componente.

Durante las inspecciones diarias del avión, si se detecta que la cubierta está desgastada o deteriorada ésta debe ser reemplazada. En ese momento se computa que se ha realizado el primer cambio de cubiertas desde el overhaul. El avión vuelve a volar y el ciclo se repite durante cinco cambios de cubierta o 1500 ciclos, lo que ocurra primero, momento en el que se reemplaza la llanta. Las ruedas tienen otro limitante, la cantidad de cambio de cubierta máxima, si se llegan a los 50 cambios de cubierta las llantas deben ser dadas de baja.

El intervalo de cinco cambios de cubierta o 1500 ciclos es la vida segura del componente. Ésta está certificada por el fabricante y aprobada por la autoridad de origen del certificado tipo de la aeronave. Si un operador quisiera ampliar este límite debería solicitar la aprobación a la autoridad local donde se encuentre registrada la aeronave que opera.

Las tareas de mantenimiento realizadas al tren de aterrizaje se pueden ver en la tabla 3.3.

| Descripción    | Intervalo                          | Tarea    |
|----------------|------------------------------------|----------|
| Ruedas MLG/NLG | Cada 5 cambio de cubierta o 1500Cs | Overhaul |
|                | 50 cambio de cubierta              | Scrap    |
| Freno          | En cada remoción                   | Overhaul |

Tabla 3.3 Frecuencia de mantenimiento del tren de aterrizaje

### 3.5.2 Mantenimiento del Sistema de Entretenimiento a Bordo

El sistema de entretenimiento a bordo no afecta directamente a la aeronavegabilidad de la aeronave por lo tanto no es un equipo crítico desde ese punto de vista. Sin embargo, su funcionamiento es percibido directamente por los pasajeros. Un funcionamiento deficiente puede dañar la imagen de la compañía aérea y repercutir en sus ventas.

El mantenimiento del sistema de entretenimiento a bordo es de tipo On Condition, es decir, el componente cada cierto tiempo para comprobar su estado y repararlo si fuera necesario. Al tratarse de un equipo no crítico desde el punto de vista de la aeronavegabilidad, no tiene límite de vida; el operador puede realizar inspecciones funcionales incorporadas en el programa de avión en cada inspección intermedia (400-600 horas) o mayor (6000 horas).



Ilustración 3.7 Sistema de entretenimiento a bordo

### 3.5.3 *Mantenimiento de los motores*

La organización del mantenimiento de los motores es una tarea compleja pues cuenta con diversos componentes que requieren programas de mantenimiento diferentes. El programa de mantenimiento puede ser: Hard Time, Soft Time, Utilización hasta Fallo, On-Condition.

Hard Time es un programa de mantenimiento basado en intervalos de tiempo entre tareas de mantenimiento fijos. Las remociones del motor están programadas antes de que se alcance el límite de vida. Este método es bueno para la aproximación inicial cuando el motor es nuevo y la durabilidad operacional no es conocida pero no es un método rentable económicamente.

Soft Time es un programa de mantenimiento basado en intervalos de tiempo entre tareas de mantenimiento flexibles que cambian según los resultados de las inspecciones. Es un método recomendado para remoción y mantenimiento de componentes cuando el motor está en el taller por razones desconocidas.

En la utilización hasta fallo el motor es retirado cuando la tripulación informa de algún acontecimiento importante del motor o fallo. Es el método menos económicamente rentable.

El mantenimiento On-Condition está basado en inspecciones, mediciones y ensayos continuos para determinar el estado del motor. Es el método económicamente más rentable; la mayor parte de los componentes del motor reciben este tipo de mantenimiento.

El mejor programa de mantenimiento es aquél que está basado en una adecuada gestión de la flota de motores. Para ello es necesario tener una visión completa de todas las áreas dentro de la compañía aérea, principalmente las que se muestran a continuación.

### 3.5.3.1 Mantenimiento de Línea y de Base

La mayor parte de las tareas de Mantenimiento de Línea se realizan mediante fichas de trabajo. Dichas fichas se crean a partir del manual de mantenimiento para reflejar las especificaciones de mantenimiento. Las faltas encontradas durante las inspecciones pueden clasificarse en cuatro categorías dependiendo de cómo se hayan encontrado:

- Inspección visual (con boroscopio)
- Reportadas por la tripulación
- Mensajes electrónicos
- Revisiones A, B, C y D

Cuando se encuentra un fallo se debe informar a Planeamiento y Control para entrar en acción inmediatamente: se inspecciona el motor para comprobar las incidencias reportadas y a continuación se inicia el proceso de solución del problema.

En la ilustración 3.8 se muestra un ejemplo de una lista de seguimiento de una inspección visual.

## MANTENIMIENTO DE AVIONES

| ENGINE |      |     | LAST                                                                                                                                                                                                                                                        | NEXT      | ON-WATCH                                                                   |
|--------|------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------|
| S/N    | A/C  | POS | BOROSCOPE                                                                                                                                                                                                                                                   | BR_SCOPE  | REMARKS                                                                    |
|        |      |     | FINDINGS                                                                                                                                                                                                                                                    | INSPECT   |                                                                            |
| 716430 | *5AM | 1 * | CRACKS IN FUEL INJECTOR HEATSHIELD HOLE PERMITTED FIG 628 ( SHEET 15) 72-00-00 MM + BURNING FROM MID T.E. AT 100% OF TP BLADES, NO CRACKS DETECTED, EROSION AT L.E. 100% OF BLADES, MISSING MATERIAL DETECTED. ( STBY FOR %)                                | 30-Mar-96 | 50 CYC BR-INSP<br>METAL IN OIL                                             |
| 726730 | *3AM | 2 * | (3) T1 BLADES HAVE EARLY BURNING ON L.E., 65% OF BLADE TIPS HAVE BURNING, 100% OF BLADES HAVE SOME SULFADATION ON C/C SIDE. 1st DUCT SEGMENTS HEAVY SPALLING SOME SEGMENTS MISSING LOT MATERIAL, SOME CHUNKING BETWEEN SEGMENTS ON T.E.                     | 6-Apr-96  | HI TAKE OFF. EGT<br>REPORTED<br>50 CYC BR-INSP                             |
| 726729 | *3AM | 1 * | (3) T1 BLADES HAVE SOME BURNING ON L.E. 100 % T1 BLADES GRAY/BLACK SPOTS ON C/C SIDE AND SOME SULFADATION. DUCT SEGMENTS SHOWS HEAVY SPALLING.                                                                                                              | 6-Apr-96  | HI TAKE OFF. EGT<br>REPORTED,<br>50 CYC BR-INSP                            |
| 726732 | *2AM | 1 * | (2) BLADES W/L E. BURNED APPROX 1/32 AREA "C" ONE WITH 40% OTHER WITH 30%. 100% T.E. TP CAP BURNED, 100% OF 1st STAGE DUCT SEGMENTS SHOW HEAVY SPALLING. SOME SEGMENTS MISSING                                                                              | 8-Apr-96  | HI TAKE OFF. EGT<br>REPORTED & 40°C<br>HIGHER IN CRUISE,<br>50 CYC BR-INSP |
| 726735 | *6AM | 1 * | LPC, LIGHT NICKS FOUND OK, CRACKS ON SEVERAL FUEL INJECTORS.                                                                                                                                                                                                | 25-Apr-96 | 200 CYC BR-INSP                                                            |
| 726736 | *6AM | 2 * | NICKS SOME L.E. CRACKS ON SEVERAL FUEL INJECTORS GUIDE HEATSHIELD OK. LOOSE MATERIAL 15% OF 360°, BURNING ON UPPER AREA OF T.E. CONCAVE SIDE IN 100% OF 1st STG HPT(1) BLADE WITH EROSION ON L.E. "C" AREA LINK 3 COOLING ORIFICES 100% DUCT SEG. SPALLING. | 26-Apr-96 | HI TAKE OFF. EGT<br>REPORTED,<br>100 CYC BR-INSP                           |
| 726723 | *4AM | 1 * | SEAL LOOSING IN PLATFORM OF (1) FAN BLADE. RADIAL CRACKS ON HEATSHIELD (VISIBLE PER AP9), AND FUEL INJECTOR HEATSHIELD NEAR UPPER SPARK PLUGS. BOTH WITHIN LIMITS.                                                                                          | 25-Jul-96 | ROUTINE                                                                    |
| 726731 | *4AM | 2 * | ENGINE INSTALLED JAN 6 96                                                                                                                                                                                                                                   | 3-May-96  | ON WATCH<br>METAL IN OIL                                                   |
| 727107 | *1A  | 1 * | ENGINE INSTALLED JAN 16 96                                                                                                                                                                                                                                  | 3-May-96  | ON WATCH<br>METAL IN OIL                                                   |
| 726733 | *2AM | 2 * | (6) FUEL NOZZLE HEATSHIELDS WITH RADIAL CRACK ( 1 EACH ). (1) WITH TWO STARTING IN THE OUTER EDGE AND ENDED IN HEATSHIELD HOLES IN LIMITS REF MM 72-00 PAG 686.                                                                                             | 8-Jun-96  | ROUTINE                                                                    |

Ilustración 3.8 Lista de seguimiento de una inspección visual

### 3.5.3.2 Monitorización “en ala”

Con el software adecuado se puede monitorizar el estado de los motores durante la etapa de crucero. De esta manera, si representan los datos los datos respecto a una línea base y se revisan frecuentemente, se pueden detectar anomalías en el funcionamiento del motor.

#### Tendencia a corto plazo

En la ilustración 3.9 se muestra un gráfico con la tendencia diaria de varios parámetros de monitorización del motor proporcionado por el programa “Engine Condition Monitoring II” de Pratt & Whitney.

## MANTENIMIENTO DE AVIONES

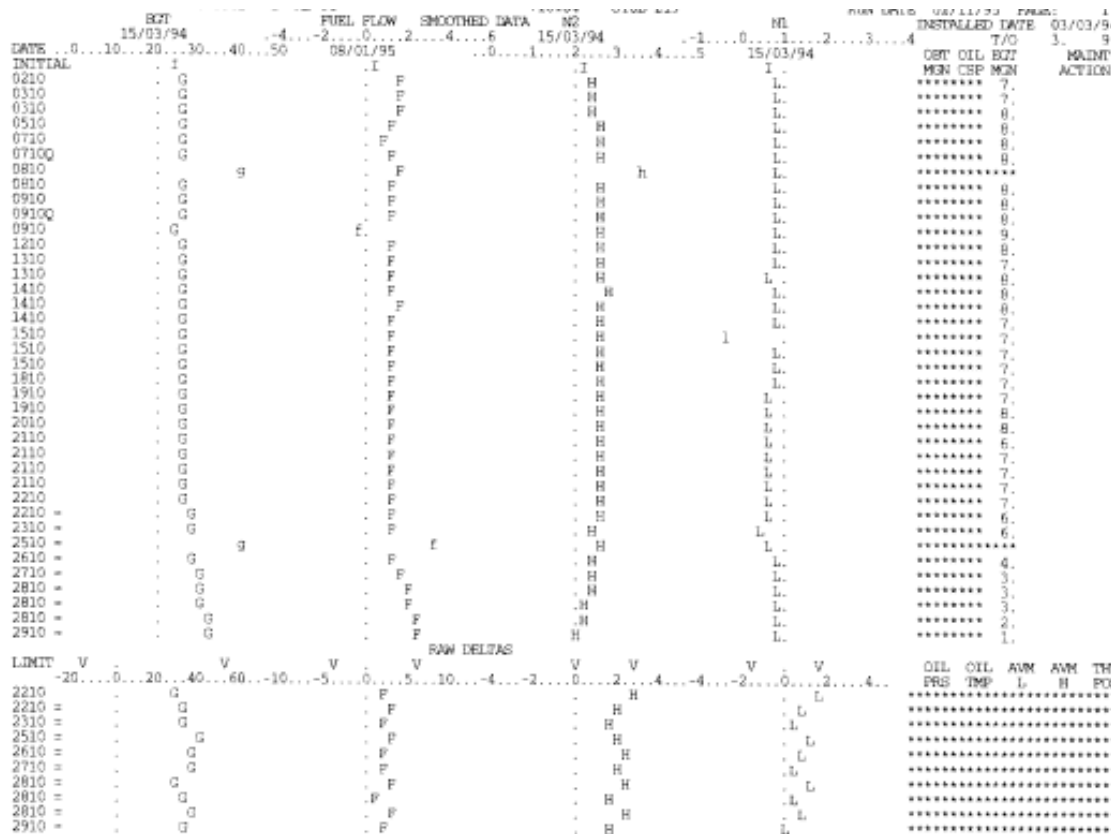


Ilustración 3.9 Tendencia diaria de varios parámetros de control del motor (ECM II)

Como se puede ver, hay cambios en los cuatro parámetros. Para encontrar problema que ha hecho que se produzcan de dichos cambios, éstos se deben cuantificar.

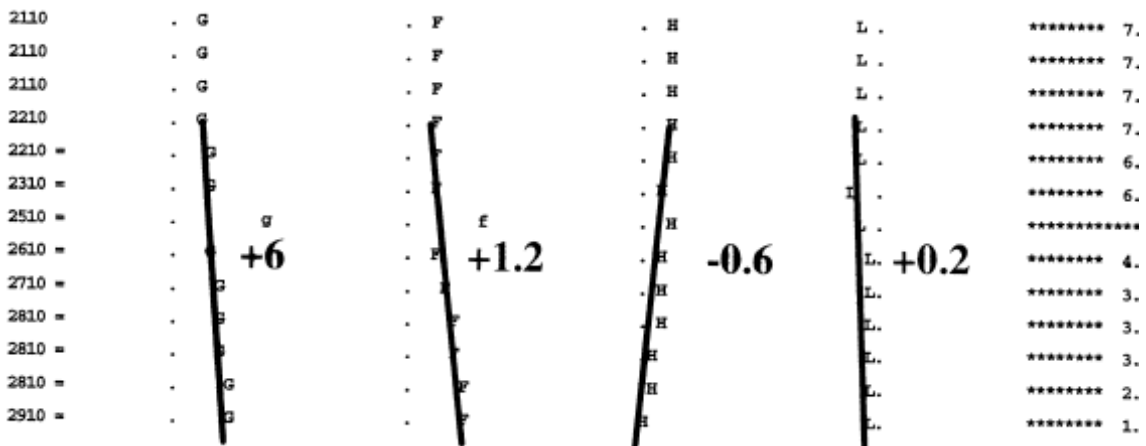


Ilustración 3.10. Variación de los parámetros de control del motor (CP)

El fabricante del motor también proporciona tablas (ilustración 3.11) con la influencia de los posibles problemas en los valores de los parámetros monitorizados. Contrastando la información de dicha tabla y las variaciones observadas se puede conocer la raíz del problema. En el ejemplo estudiado, la variación de consumo de combustible es +1,2% lo que indica que el problema puede estar causado por pérdida de rendimiento en la turbina de alta presión o por fuga de aire en el fan.

## MANTENIMIENTO DE AVIONES

| CAUSE                                                                  | $\Delta$ EGT- ° C | $\Delta$ FUEL FLOW ~ % $\Delta$ | $\Delta$ N2 ~ % $\Delta$ | $\Delta$ N1 ~ % $\Delta$ | COMMENTS |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------|
| +2% 1st NGV AREA                                                       | +3                | +0.4                            | -0.7                     | -0.1                     |          |
| HPT MODULE PERFORMANCE LOSS (-2% HPT EFFICIENCY)                       | +9                | +1.1                            | -1.7                     | -0.3                     |          |
| +2% FLOW, FAN BLEED OVERBOARD                                          | +2                | +0.8                            | -0.1                     | +0.8                     |          |
| FAN MODULE PERFORMANCE LOSS (-2% FAN EFFICIENCY -3% FAN FLOW CAPACITY) | -13               | -0.7                            | -0.9                     | +2.2                     |          |

Ilustración 3.11 Influencia de los posibles problemas en los valores de los parámetros monitorizados

### Tendencia a largo plazo

El programa ECM II de Pratt & Whitney también proporciona información para controlar la actuación del motor a largo plazo (ilustración 3.12)

| LCO 40601 |        | COMPRESSED HISTORY REPORT |     |    |                      | RUN DATE 24/04/95 |  |
|-----------|--------|---------------------------|-----|----|----------------------|-------------------|--|
| 726563    | PW2040 | (S23+)                    | CYH | -2 |                      |                   |  |
| DATE      | EGT    | FUEL FLOW                 | N2  | N1 | EGT MARGIN/OAT LIMIT |                   |  |
| 030192    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 180192    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 150292    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 150392    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 110492    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 090592    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 220592    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 150692    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 160792    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 140892    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 140992    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 161092    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 141192    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 151292    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 150193    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 090293    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 150293    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 160393    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 150493    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 150593    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 140693    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 160793    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 160893    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 150993    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 131093    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 121193    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 121293    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 130194    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 040294    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 030394    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 090494    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| CYH       | -2     |                           |     |    |                      |                   |  |
| 050994    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 140994    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 111094    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 161194    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 141294    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 160195    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 150295    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |
| 160395    | G      | F                         | H   | L  |                      |                   |  |

Ilustración 3.12 Variación de los parámetros de control del motor (LP)

El análisis es similar al del corto plazo. Con esta información se puede controlar el comportamiento a largo plazo del motor y la influencia de las visitas al taller en los parámetros estudiados.

### Clasificación de los motores de la flota

Utilizando una combinación de los parámetros Temperatura de Salida de los Gases (EGT) y Consumo de Combustible (Wf) se pueden clasificar los motores de la flota de mejor a

## MANTENIMIENTO DE AVIONES

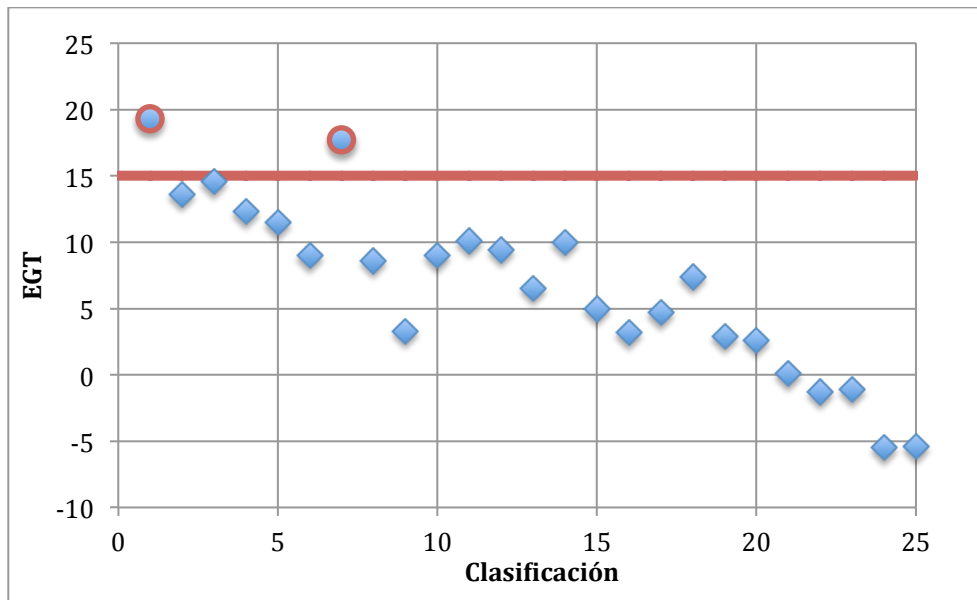
peor; la combinación de ambos parámetros recibe el nombre de índice EGT. En la tabla 3.4 se muestra el ranking de los motores; siendo el primero el peor (EGT y/o Wf más altos) y el 25 el mejor motor de la flota.

| RANK | EGT<br>INDEX<br>(C) | ENGINE<br>S/N | AIRCRAFT-POS | INSTALL<br>DATE | DATA<br>DATE | CHNG IN<br>EGT IND<br>N DAYS | DEGT<br>(C) | %DWF | %DN1 | %DN2 | EGT<br>MARGIN<br>(C) |
|------|---------------------|---------------|--------------|-----------------|--------------|------------------------------|-------------|------|------|------|----------------------|
| 1    | 19.9                | 724438        | B2458 3      | 30-May-95       | 31-Jul-96    | -4.9                         | 19.3        | 3.2  | 0.7  | 0.5  | 26.5                 |
| 2    | 15.7                | 724485        | B2456 4      | 21-Jun-94       | 17-May-96    | -1.2                         | 13.6        | 3.3  | 1    | 0.4  | 19.3                 |
| 3    | 15.5                | 724486        | B2458 1      | 20-Aug-95       | 31-Jul-96    | 0.2                          | 14.6        | 2.7  | 1    | 0.4  | 33.6                 |
| 4    | 12.7                | 724436        | B2464 4      | 16-Dec-95       | 31-Jul-96    | -2                           | 12.3        | 2.1  | 0.3  | -0.3 | 13.4                 |
| 5    | 11.3                | 724491        | B2466 4      | 17-Mar-95       | 31-Jul-96    | 3.7                          | 11.5        | 1.6  | 0.9  | 0    | 40.8                 |
| 6    | 11                  | 717638        | B2443 4      | 11-May-96       | 30-Jul-96    | 0.1                          | 9           | 2.5  | 0.1  | -0.2 | 19.9                 |
| 7    | 10.3                | 724506        | B2458 4      | 17-Mar-95       | 31-Jul-96    | -2.7                         | 17.7        | -1.7 | 0.4  | -0.4 | 35.1                 |
| 8    | 10.1                | 717616        | B2466 3      | 27-May-95       | 31-Jul-96    | -3                           | 8.6         | 2.2  | 0.2  | -0.4 | 35.1                 |
| 9    | 9.5                 | 717568        | B2464 3      | 11-Jul-96       | 31-Jul-96    | -999.9                       | 3.3         | 4.1  | 0.5  | 0.9  | -999.9               |
| 10   | 9.3                 | 724499        | B2460 1      | 18-Aug-93       | 29-Jul-96    | -2.4                         | 9           | 1.5  | 0.8  | 0.2  | 37.9                 |
| 11   | 9.2                 | 727417        | B2464 2      | 12-Jan-95       | 31-Jul-96    | -1.1                         | 10.1        | 0.9  | 0.8  | -0.5 | 29.8                 |
| 12   | 8.4                 | 724437        | B2466 2      | 17-Aug-95       | 31-Jul-96    | -0.9                         | 9.4         | 0.8  | 0.3  | -0.2 | 25.8                 |
| 13   | 7.5                 | 717615        | B2443 2      | 29-Jun-96       | 30-Jul-96    | -999.9                       | 6.5         | 1.5  | 0    | -0.3 | -999.9               |
| 14   | 6.1                 | 717569        | B2443 1      | 8-Jun-96        | 30-Jul-96    | 0.4                          | 10          | -0.9 | -0.1 | -0.4 | 21.6                 |
| 15   | 5.1                 | 717563        | B2466 1      | 15-Jan-96       | 31-Jul-96    | 0.1                          | 5           | 0.8  | 0.8  | -0.6 | 17.3                 |
| 16   | 4.8                 | 724417        | B2464 1      | 17-Dec-93       | 31-Jul-96    | -6.3                         | 3.2         | 1.4  | 0.8  | 0.3  | 36                   |
| 17   | 4.5                 | 727419        | B2445 4      | 28-Jan-94       | 28-Jul-96    | 2.1                          | 4.7         | 0.5  | 0.6  | -0.6 | 30.5                 |
| 18   | 3.4                 | 724441        | B2445 3      | 18-Jan-96       | 28-Jul-96    | 0.1                          | 7.4         | -1.2 | -0.6 | -1.2 | 23.7                 |
| 19   | 3.2                 | 724400        | B2460 2      | 18-Sep-95       | 29-Jul-96    | -0.7                         | 2.9         | 0.6  | 0.2  | -0.5 | 39.3                 |
| 20   | 2.6                 | 724631        | B2456 1      | 22-Jul-94       | 17-May-96    | -1.9                         | 2.6         | 0.3  | 0.6  | 0.1  | 31.5                 |
| 21   | 0.2                 | 717647        | B2443 3      | 1-Jan-96        | 30-Jul-96    | 0.3                          | 0.1         | 0.1  | -0.3 | -0.2 | 29.5                 |
| 22   | 0                   | 717571        | B2458 2      | 22-Jun-96       | 31-Jul-96    | -0.6                         | -1.3        | 0.6  | 0.5  | 0    | 43.8                 |
| 23   | -0.6                | 724397        | B2460 3      | 23-May-96       | 29-Jul-96    | -0.9                         | -1.1        | 0.1  | 0.4  | -0.7 | -999.9               |
| 24   | -6.2                | 717641        | B2460 4      | 30-Mar-96       | 29-Jul-96    | -0.5                         | -5.5        | -1.2 | 0.3  | 0.1  | 40.6                 |
| 25   | -6.6                | 717617        | B2445 2      | 2-Oct-95        | 28-Jul-96    | -2.4                         | -5.4        | -1.5 | -0.5 | -0.6 | 38.4                 |

Tabla 3.4 Ranking de los motores de una flota según su índice EGT

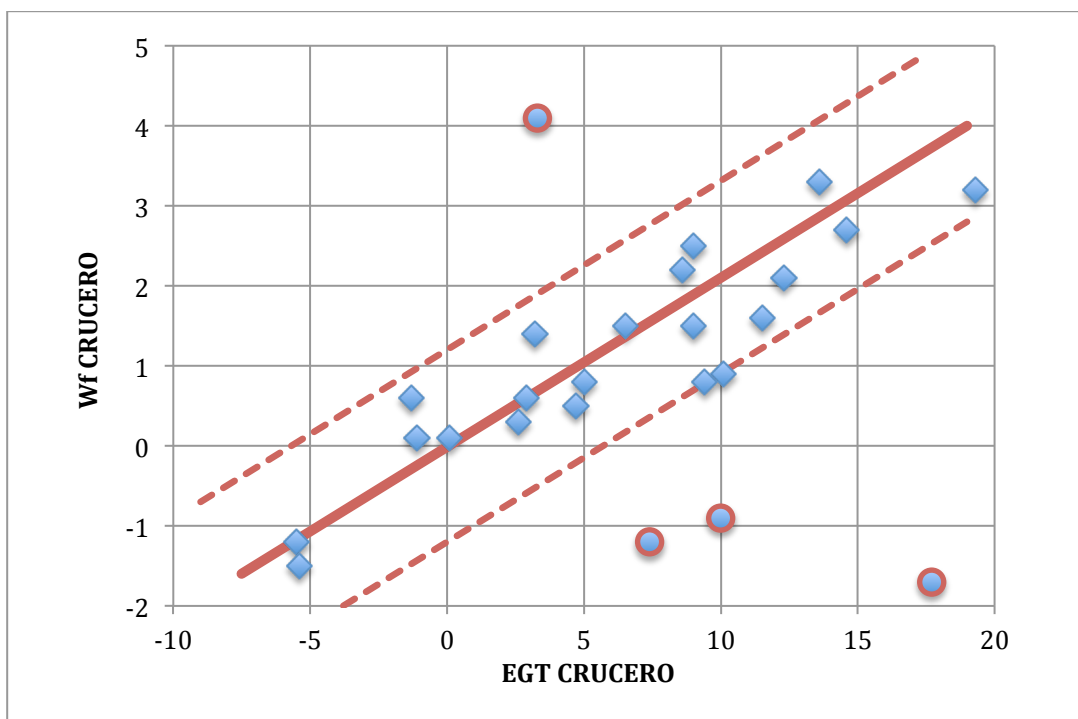
Representando el nivel relativo de EGT durante crucero de cada motor y fijando un umbral de EGT se puede controlar que motores tienen un EGT superior y vigilarlos. El valor del EGT umbral debe ponerlo cada operador basándose en su experiencia con la flota. La elección del valor umbral es clave para identificar las posibles anomalías de un motor de la flota. En el ejemplo estudiado (gráfica 3.1), los motores 1 y 7 debería vigilarse por tener un EGT superior.

## MANTENIMIENTO DE AVIONES



Gráfica 3.1 Clasificación de los motores según su EGT

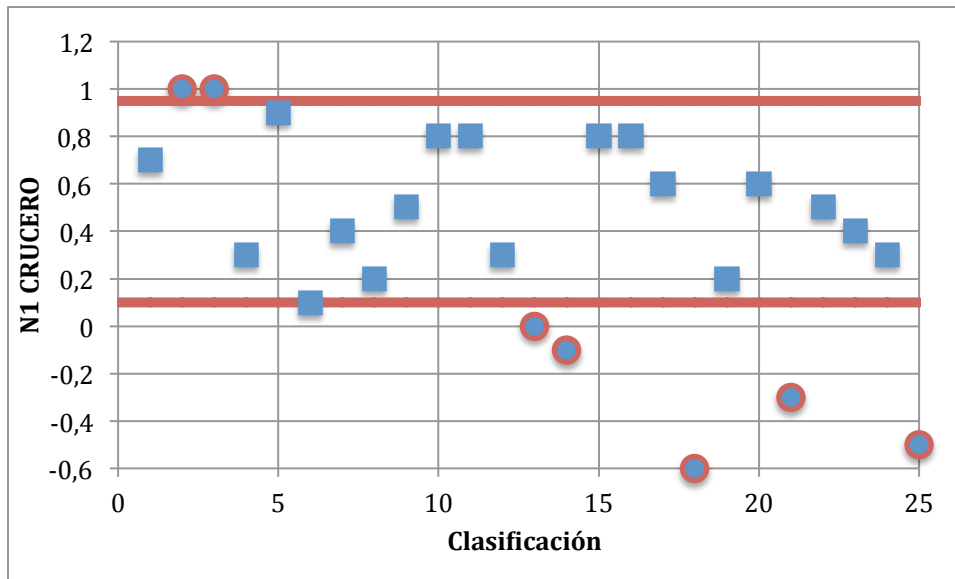
Para detectar posibles problemas en los motores, también se puede representar el nivel relativo de EGT frente al de Wf (gráfica 3.2). De esta manera se aumenta la probabilidad de detectar fallos. En este ejemplo, cuatro motores están marcado por tener una relación anormal entre los dos parámetros.



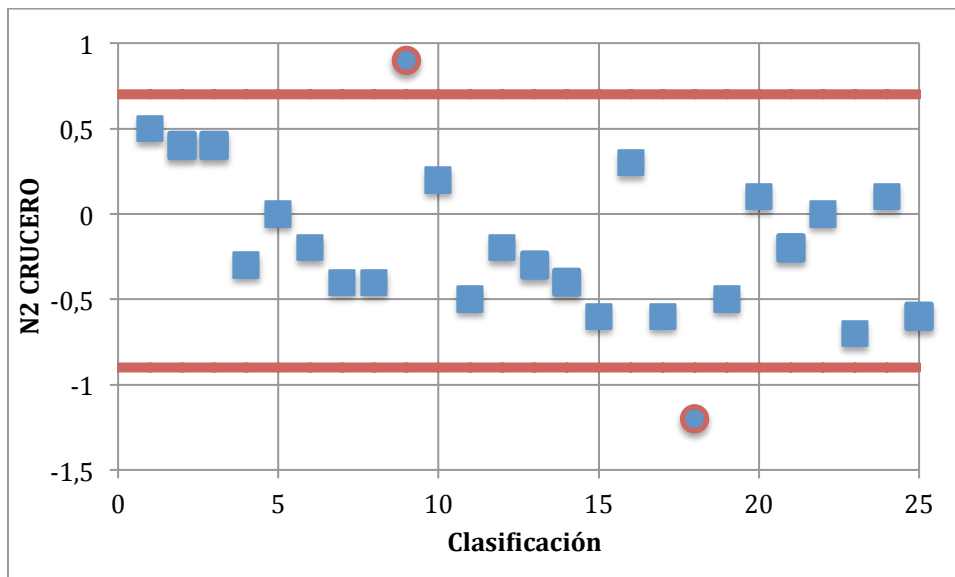
Gráfica 3.2 EGT vs. Wf

## MANTENIMIENTO DE AVIONES

El mismo procedimiento se puede seguir con la velocidad de giro de los ejes. En las gráficas 3.3 y 3.4 se puede observar que dos motores deben vigilarse por un exceso de velocidad N1 y cinco motores por defecto de velocidad N1; y que un motor debe vigilarse por exceso de velocidad N2 y otro por defecto de velocidad N2.



Gráfica 3.3 N1 vs Clasificación



Gráfica 3.4 N2 vs. Clasificación

Con la información recabada de las gráficas anteriores se puede realizar una tabla para saber que características de los motores hay que vigilar y monitorizar de forma adecuada la flota de motores. La tabla 3.5 amplía la información de la tabla 3.3 con comentarios sobre los parámetros que hay que vigilar en cada motor.

## MANTENIMIENTO DE AVIONES

| RANK | INDICE EGT | FECHA INST. | FECHA DATOS | EGT  | WF   | N1  | N2       | COMENTARIOS                  |
|------|------------|-------------|-------------|------|------|-----|----------|------------------------------|
| 1    | 19,9       | 30-may-95   | 31-jun-96   | 19,3 | 3,2  | 0,7 | 0,5      | High EGT                     |
| 2    | 15,7       | 21-jun-94   | 17-may-96   | 13,6 | 3,3  | 1   | 0,4      | High N1                      |
| 3    | 15,5       | 20-ago-95   | 31-jul-96   | 14,6 | 2,7  | 1   | 0,4      | High N1                      |
| 4    | 12,7       | 16-dic-95   | 31-jul-96   | 12,3 | 2,1  | 0,3 | -<br>0,3 | High EGT,<br>EGT/Wf off      |
| 5    | 11,3       | 17-mar-95   | 31-jul-96   | 11,5 | 1,6  | 0,9 | 0        | Low EGT,<br>EGT/Wf off       |
| 6    | 11         | 11-may-96   | 30-jul-96   | 9    | 2,5  | 0,1 | -<br>0,2 | EGT/WF off                   |
| 7    | 10,3       | 17-mar-95   | 31-jul-96   | 17,7 | -1,7 | 0,4 | -<br>0,4 | EGT/WF off, Low<br>N1 and N2 |
| 8    | 10,1       | 22-may-95   | 31-jul-96   | 8,6  | 2,2  | 0,2 | -<br>0,4 | Low N1                       |
| 9    | 9,5        | 11-jul-96   | 31-jul-96   | 3,3  | 4,1  | 0,5 | 0,9      | Low N1                       |
| 10   | 9,3        | 18-ago-93   | 29-jul-96   | 9    | 1,5  | 0,8 | 0,2      | Low N1                       |
| 11   | 9,2        | 12-ene-95   | 31-jul-96   | 10,1 | 0,9  | 0,8 | -<br>0,5 | Low N1                       |

**Tabla 3.5 Parámetros de control de los motores**

### 3.5.3.3 Modos de fallo

Para identificar la raíz de los problemas que están llevando al motor al taller hay que identificar el principal modo de fallo. Los modos de fallo más comunes son fatiga (ilustración 3.13), corrosión (ilustración 3.14), sulfatación, (ilustración 3.15) exfoliación, oxidación y fracturas en cizalla.



**Ilustración 3.13 Fatiga**



**Ilustración 3.14 Corrosión**



**Ilustración 3.15 Sulfatación**

## 4 PROPUESTAS

### 4.1 ORGANIZACIÓN DEL ÁREA DE MANTENIMIENTO

La organización del área de mantenimiento de una aerolínea es un aspecto clave para asegurar el diseño y la implementación de las mejores políticas y prácticas de mantenimiento. En este sentido del estudio, a partir de las dos empresas analizadas, surge que seguramente existen un sinnúmero de variantes. No hemos podido relacionar la estructura del área con los resultados de la gestión; pero resulta evidente que un primer aspecto a considerar para mejorar la gestión es contar con una estructura integrada y con una alta calificación del personal de mantenimiento.

Los aspectos que se analizan en detalle sobre el mantenimiento de los motores y el control de costes, son indicativos de la importancia de la capacitación y gestión de los recursos humanos en el mantenimiento aeronáutico. Para proponer el programa de mantenimiento y analizar los costes de mantenimiento se ha tenido como referencia los datos proporcionados en la Guía de Operadores y Propietarios del motor CFM56-3.

### 4.2 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DEL MOTOR

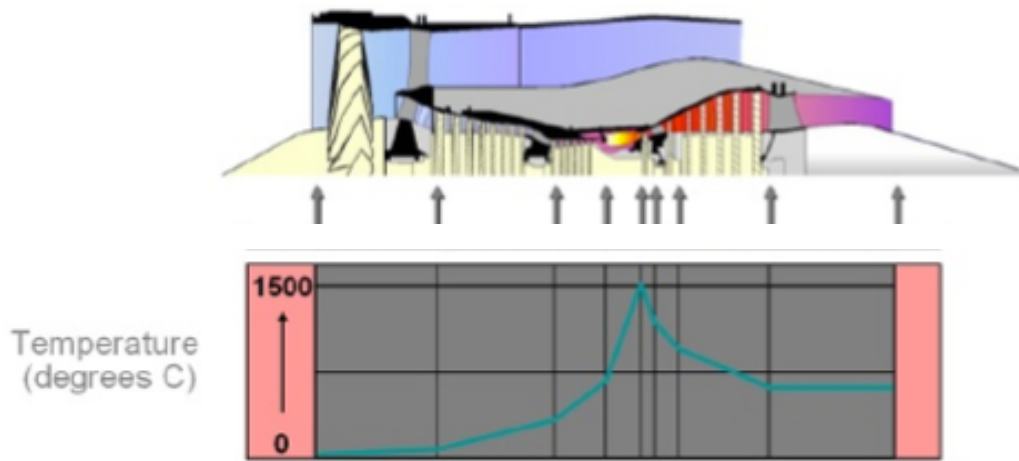
El programa de mantenimiento está determinando por el intervalo de tiempo entre remociones. Éste depende de varios factores: el nivel de empuje, las tareas de mantenimiento realizadas en la anterior vista al taller, el estándar del hardware del motor, la política de despegue con empuje reducido utilizada por el operador, el ratio entre las horas de funcionamiento y los ciclos de funcionamiento del motor (EFH:EFC) y las condiciones ambientales de operación tales como la temperatura del aire exterior (OAT). También hay algunas prácticas operativas como el tiempo de calentamiento y enfriamiento del motor así como el ajuste de sangrado que también afectan en menor medida al tiempo que el motor permanece montado en el ala.

#### 4.2.1 Factores influyentes

De todos los factores mencionados, se va a estudiar el efecto del ratio EFH:EFC, el nivel de empuje de despegue, la temperatura del aire exterior, el nivel de empuje de despegue y el límite de vida de las LLP (Life Limited Parts) en el intervalo entre remociones.

##### 4.2.1.1 Margen EGT

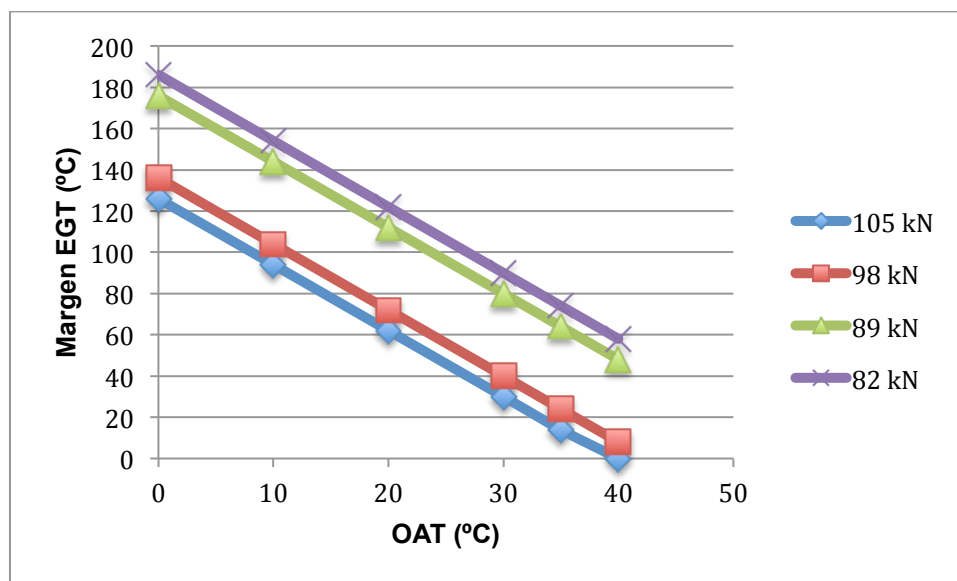
El margen EGT es la diferencia entre la temperatura de salida de los gases (EGT) y su valor límite. Cuando la temperatura de salida de los gases alcanza su valor límite se deben realizar tareas de mantenimiento para que la EGT vuelva a estar por debajo del valor límite.



**Ilustración 4.1 Distribución de temperatura en un turbofán**

La temperatura de salida de los gases depende de la temperatura alcanzada en la combustión y está limitada por la resistencia del material de la turbina de alta presión. En la ilustración 4.1 se muestra la distribución de temperatura en un turbofán.

A mayores niveles de empuje, la temperatura de salida de los gases aumenta por lo que el margen EGT disminuye. Asimismo, al aumentar la temperatura exterior del aire, la temperatura de salida de los gases aumenta y el margen EGT disminuye. La temperatura de los gases de salida disminuye 3,2°C por cada grado que baja la temperatura exterior del gas; el margen EGT aumenta la misma cantidad. Si la temperatura ambiente es muy elevada, 45°C, los motores con mayor nivel de empuje no pueden ser utilizados a máxima potencia y se deberá reducir el empuje para mantener la temperatura de salida de los gases constante (por debajo del valor límite). En la gráfica 4.1 se presenta el margen EGT para varios niveles de empuje y temperatura exterior del aire.



**Gráfica 4.1 Variación del margen EGT con OAT y el empuje**

La temperatura de salida de los gases aumenta con el tiempo de funcionamiento del motor hasta que se alcanza el valor límite y el motor debe ser sometido a mantenimiento. Tras la primera visita al taller, el margen EGT recuperado y su posterior deterioro dependen de las tareas de mantenimiento realizadas. Para el motor estudiado, se recupera aproximadamente un 70% del valor inicial de la temperatura de salida de los gases. En la tabla 4.1 se muestra una tabla con los valores del margen EGT antes y después de la primera visita al taller.

| Empuje<br>(kN) | Margen EGT (°C) |         |
|----------------|-----------------|---------|
|                | Antes           | Después |
| 105            | 40-50           | 30      |
| 98             | 60-70           | 40      |
| 89             | 90-100          | 80      |
| 82             | 115-120         | 90      |

Tabla 4.1 Margen EGT antes y después de la primera visita al taller

Cuanto mayor sea el empuje, y por lo tanto la temperatura de salida de los gases, el margen EGT será menor y más rápido se deteriorará por lo que el intervalo de tiempo entre remociones será menor.

#### 4.2.1.2 Empuje de despegue

La variación del empuje de despegue es directamente proporcional a la variación de la temperatura de los gases de salida. A mayor empuje, mayor temperatura de salida de los gases, mayor deterioro del margen EGT y menos intervalo entre remociones. En la tabla 4.2 aparecen los intervalos entre remociones, en número de ciclos de vuelo, de un motor para diferentes valores de empuje de despegue y una temperatura ambiente de 30°C. Para niveles de empuje reducidos, la tasa de deterioro del margen EGT es tan pequeña que el intervalo de tiempo que el motor está montado en el ala no está limitado por el margen EGT sino por el límite de vida de las LLP (Life Limited Parts). Después de la primera remoción los intervalos entre las posteriores remociones se hace más o menos constante con el tiempo.

| Empuje (kN) | Tiempo (EFC) |             |             |
|-------------|--------------|-------------|-------------|
|             | 1ª Remoción  | 2ª Remoción | 3ª Remoción |
| 105         | 7000         | 5000        | 5000        |
| 98          | 10000        | 7500        | 6500        |
| 89          | 16000        | 12000       | /           |
| 82          | /            | /           | /           |

Tabla 4.2 Límite de vida de las LLP

Ha de tenerse en cuenta que variaciones en la temperatura ambiente, las horas de funcionamiento del motor, el porcentaje de empuje reducido y la calidad de los componentes del motor repercuten de manera importante en los intervalos de tiempo entre remociones. Los valores indicados en la tabla son representativos y está calculados para unos valores medios de los parámetros nombrados.

#### 4.2.1.3 Ratio EFH:EFC

Para el motor estudiado, el ratio EFH:EFC medio es aproximadamente 1,4EFH por cada EFC. La influencia de las horas de vuelo del motor (EFH) y los ciclos de vuelo del motor (EFC) en el tiempo que el motor está montado en el ala depende de este ratio:

- $EFC=1-1,5EFH$  -> los EFC tienen un mayor impacto en el tiempo que el motor está montado en el ala. Cuanto mayor sea el EFC, mayor será el peso de despegue, menor el empuje reducido y se podrán realizar menos ciclos de vuelo.
- $EFC=2-3EFH$  -> las EFH acumuladas tienen mayor impacto en el tiempo que el motor está montado en el ala. Esto se debe a que las partes del motor empezarán a deteriorarse tras muchas horas de vuelo lo que provocará su remoción.

El número de EFC realizados disminuye ligeramente cuando el ratio EFH:EFC aumenta.

#### 4.2.1.4 Life limited parts

A de elegir las tareas a realizar en las revisiones es necesario tener en cuenta la vida restante de las LLP; pues puede limitar el intervalo entre remociones del motor. En la tabla 4.2 se muestran los diferentes componentes del motor e información sobre las LLPs que contienen.

|                                            | Cantidad | Límite vida (EFC) | Coste (\$) |
|--------------------------------------------|----------|-------------------|------------|
| <b>Fan</b>                                 | 3        | 30000             | 305000     |
| <b>Turbina de baja presión</b>             | 7        | 25000             | 485000     |
| <b>Turbina y Compresor de alta presión</b> | 9        | 20000             | 755000     |

Tabla 4.3 Límite de vida de las LLP

#### 4.2.2 *Proposición de un Programa de Mantenimiento de Motores*

Trabajando con los límites de vida de las LLPs y los intervalos de tiempo entre remociones limitado por la temperatura de salida de los gases se ha realizado el programa de mantenimiento para diferentes niveles de empuje.

Debido a los diferentes niveles de empuje, condiciones de operación y consideraciones de gestión, existen varios tipos de tareas de mantenimiento. Las cuatro tareas principales son:

- Restauración de la actuación del núcleo del motor (flujo primario)
- Overhaul del núcleo
- Overhaul del fan
- Overhaul del LPT

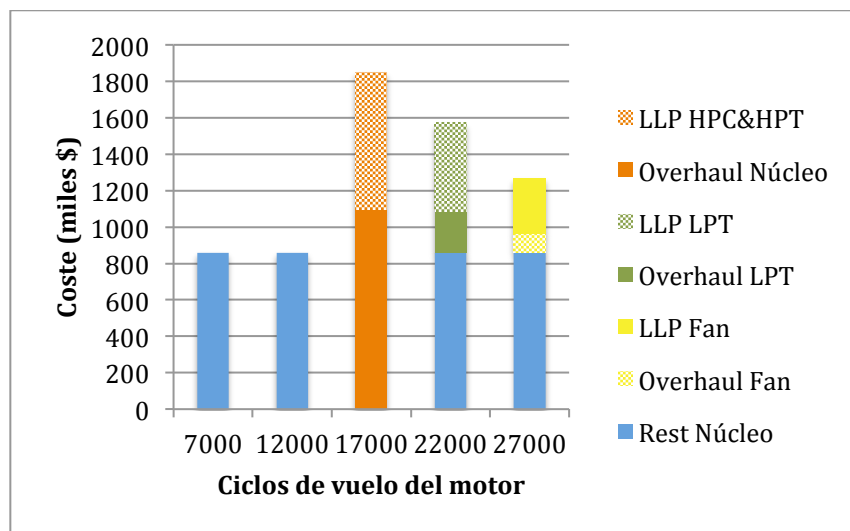
Las tareas de mantenimiento en el fan o la turbina de baja presión suelen ser necesarias cuando hay que cambiar las LLPs por lo que suelen ser overhauls.

En la tabla 4.3 se muestran los intervalos de tiempo antes de la primera, segunda y tercera remoción; y las tareas que son necesarias realizar para diferentes niveles de empuje.

## MANTENIMIENTO DE AVIONES

Para todos los niveles de empuje excepto el menor (82 kN) los intervalos entre remociones están determinados por el deterioro del margen EGT y están dados por los valores en la tabla 4.1. Si el intervalo de tiempo acumulado es tal que, si se espera hasta la siguiente remoción, se superaría el límite de vida de alguna de las LLPs entonces se deben reemplazar dichos componentes. Siempre que no se sustituyan los componentes del núcleo se realiza una restauración.

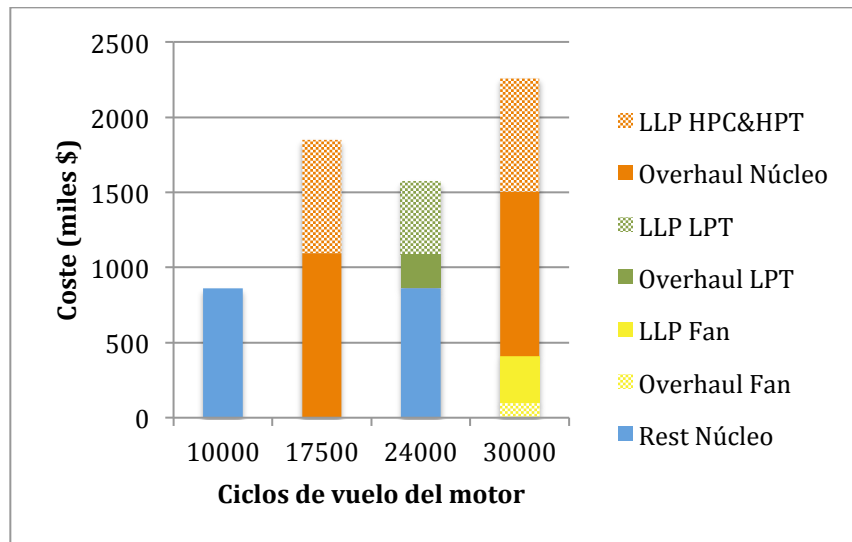
Para un nivel de empuje de 105 kN, los intervalos entre remociones son cortos. Se realiza un overhaul del núcleo en la tercera remoción y habría que realizar overhaul de la turbina de baja presión en la cuarta remoción y del fan en la quinta. La tercera remoción, 17000 EFC, equivale a entre 8 y 9 años de vida. En la gráfica 4.2 se puede observar el coste de mantenimiento de las cinco primeras remociones y el número de ciclos de vuelo a los que se realiza cada una.



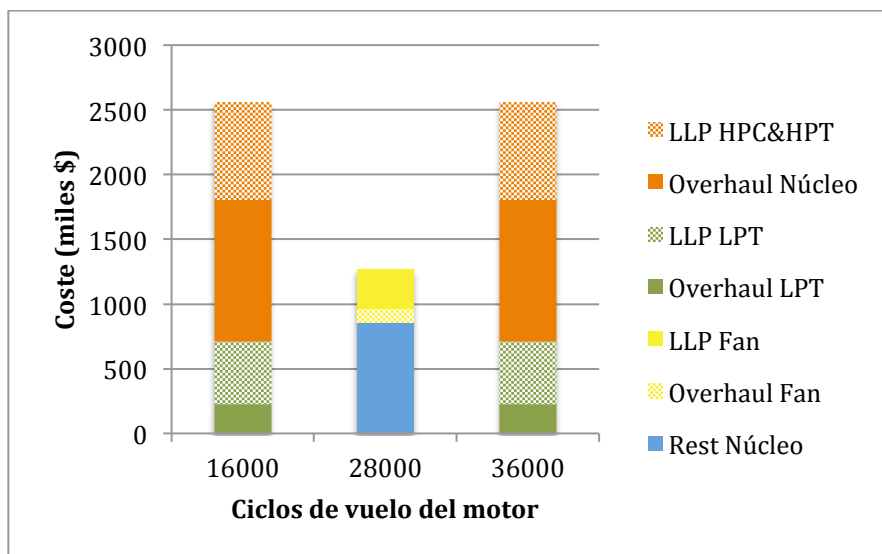
Gráfica 4.2 Coste de mantenimiento para un motor con 105 kN de empuje

A medida que el nivel de empuje disminuye el intervalo entre remociones se alarga. Para 98 kN y 89 kN de empuje el primer overhaul del núcleo se realiza en la segunda y tercera remoción, respectivamente. El motor de 98 kN requerirá un overhaul de la turbina de baja presión en la tercera remoción (12 años) y del fan en la cuarta (15 años). En cambio, para el motor de 89 kN en la primera remoción se hace el overhaul del núcleo y la turbina de baja presión; en la segunda remoción, overhaul del fan; la tercera remoción se realiza tan sólo a 8000 EFC porque está condicionada por la vida de la turbina y el compresor de alta (2000 EFC). En este punto el motor tendría 18 años. En las gráficas 4.3 y 4.4 se pueden ver los costes de mantenimiento para los motores de 98kN y 89 kN, respectivamente.

## MANTENIMIENTO DE AVIONES



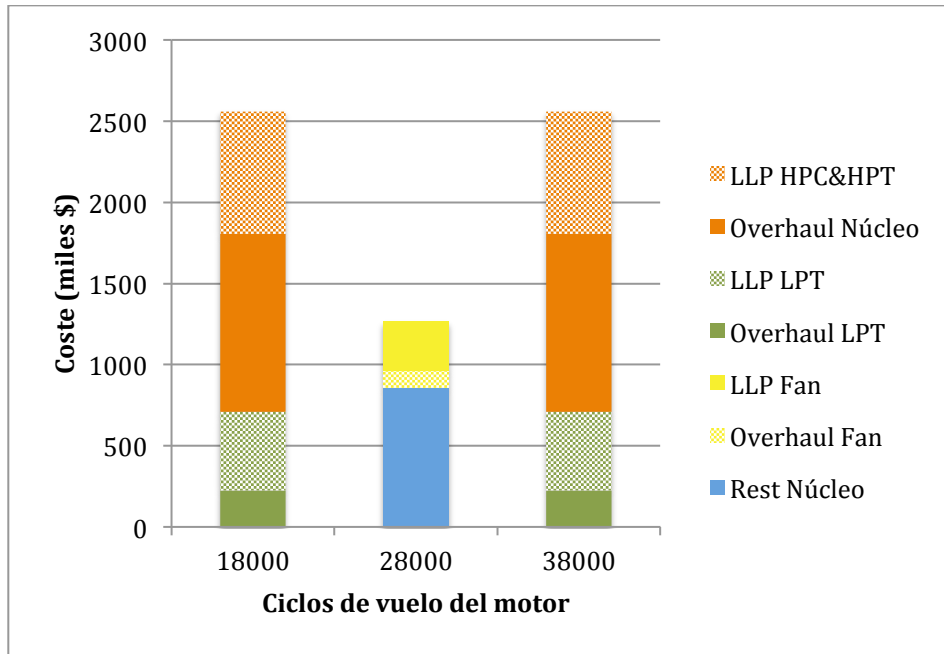
Gráfica 4.3 Coste de mantenimiento para un motor con 98 kN de empuje



Gráfica 4.4 Coste de mantenimiento para un motor con 89 kN de empuje

Como se vio en el apartado 4.1.1.2 para un empuje igual a 82 kN, el intervalo entre remociones depende del límite de vida de LLP y no del deterioro del margen EGT. La primera remoción se realiza antes de que se llegue a los 20000 EFC que es el límite de vida de la turbina y del compresor de alta. Conviene reemplazarlo también pues sino la siguiente remoción sería muy pronto. La segunda remoción viene determinada por el límite de vida del fan (30000 EFC) teniendo en cuenta que ya ha acumulado 18000 EFC. La tercera remoción vuelve a estar condicionada por el núcleo del motor y se aprovecha para realizar el mantenimiento de la turbina de baja presión; ocurre a 38000 EFC que es equivalente a unos 19 años de vida del motor. En la gráfica 4.5 se muestra el coste de mantenimiento para un motor con 82kN.

## MANTENIMIENTO DE AVIONES



Gráfica 4.5 Coste de mantenimiento para un motor con 82 kN de empuje

## MANTENIMIENTO DE AVIONES

|                                  | 1º Remoción           | 2º Remoción                        | 3º Remoción                        |
|----------------------------------|-----------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| <b>105 kN</b>                    |                       |                                    |                                    |
| <b>Intervalo Remoción (EFC)</b>  | 7000                  | 5000                               | 5000                               |
| <b>Intervalo Acumulado (EFC)</b> | 7000                  | 12000                              | 17000                              |
| <b>Tarea Mantenimiento</b>       | Restauración Núcleo   | Restauración Núcleo                | Overhaul Núcleo                    |
| <b>Reemplazo LLP</b>             | /                     | /                                  | HPT y HPC                          |
| <b>98 kN</b>                     |                       |                                    |                                    |
| <b>Intervalo Remoción (EFC)</b>  | 10000                 | 7500                               | 7500                               |
| <b>Intervalo Acumulado (EFC)</b> | 10000                 | 17500                              | 25000                              |
| <b>Tarea Mantenimiento</b>       | Restauración Núcleo   | Overhaul Núcleo                    | Restauración Núcleo y LPT Overhaul |
| <b>Reemplazo LLP</b>             | /                     | HPT y HPC                          | LPT                                |
| <b>89 kN</b>                     |                       |                                    |                                    |
| <b>Intervalo Remoción (EFC)</b>  | 16000                 | 12000                              | 8000                               |
| <b>Intervalo Acumulado (EFC)</b> | 16000                 | 28000                              | 36000                              |
| <b>Tarea Mantenimiento</b>       | Overhaul Núcleo y LPT | Overhaul Fan y Restauración Núcleo | Overhaul Núcleo y LPT              |
| <b>Reemplazo LLP</b>             | HPT, HPC y LPT        | Fan                                | HPT, HPC y LPT                     |
| <b>82 kN</b>                     |                       |                                    |                                    |
| <b>Intervalo Remoción (EFC)</b>  | 18000                 | 10000                              | 10000                              |
| <b>Intervalo Acumulado (EFC)</b> | 18000                 | 28000                              | 38000                              |
| <b>Tarea Mantenimiento</b>       | Overhaul Núcleo y LPT | Overhaul Fan y Restauración Núcleo | Overhaul Núcleo y LPT              |
| <b>Reemplazo LLP</b>             | HPT, HPC y LPT        | Fan                                | HPT, HPC y LPT                     |

Tabla 4.4 Intervalos entre remociones para distintos niveles de empuje

### 4.3 REDUCCIÓN DE COSTES DE MANTENIMIENTO

A continuación se muestra la evolución del coste de Mantenimiento, Reparaciones y Operaciones (MRO) entre el año 2001 y 2011 y su evolución prevista hasta el años 2021. Como se puede apreciar, el coste del mantenimiento de los motores ha aumentado un 135% entre 2011 y 2011 y se prevé que aumente un 51% entre 2011 y 2021. El aumento de los costes es debido a varios factores entre los cuales se encuentran envejecimiento de la flota, la acumulación de tareas de mantenimiento retrasadas, la presión inflacionaria y el creciente poder de los fabricantes de equipo original (OEM) en la postventa.

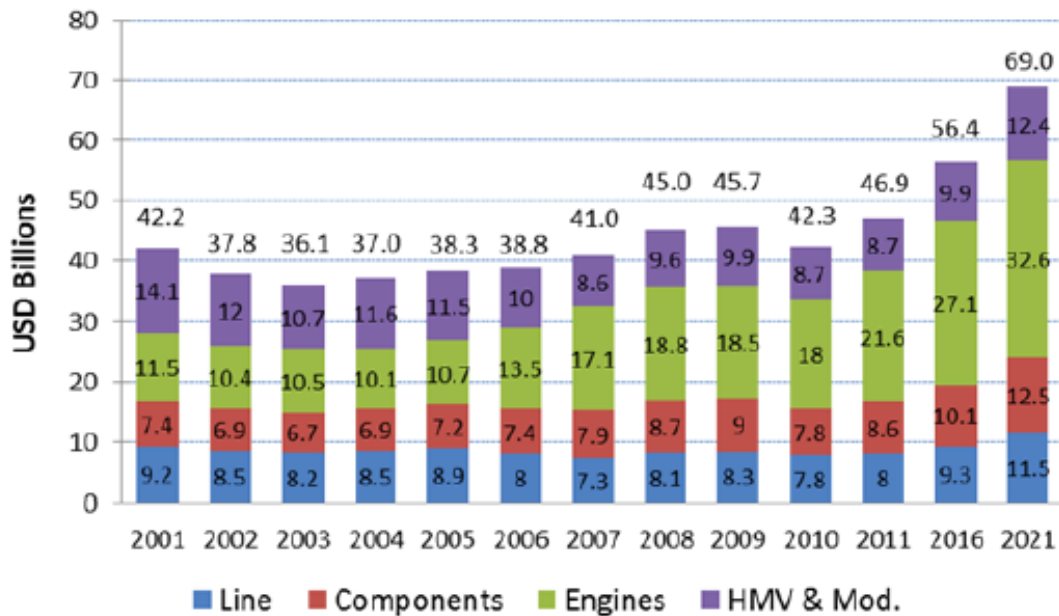
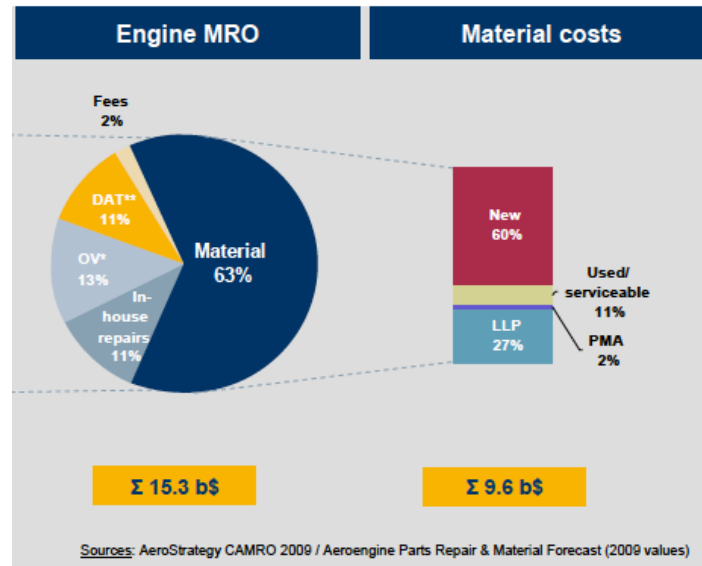


Ilustración 4.2 Costes de MRO 2001-2011

El mantenimiento de los motores comprende la mayor parte de los gastos de MRO. Como se puede ver en la ilustración 4.3, en el 2009 el coste del material (MMC) representó el 63% del coste total de mantenimiento de los motores y el coste de las LLP el 27%. .



**Ilustración 4.3** Desglose del coste del mantenimiento de los motores

El coste del mantenimiento de los motores depende del número de veces que se desmonta el motor del ala, las tareas de mantenimiento realizadas y el coste de las visitas al taller. Por lo tanto, para reducir el coste de mantenimiento, se debe reducir el número de remociones, optimizar las tareas realizadas y recortar el coste de las visitas al taller.

## 4.3.1 Reducción del número de remociones.

Dos estrategias comunes para reducir el número de remociones son el mantenimiento predictivo (ECM) y aumentar el tiempo que el motor está montado en el ala.

Sobre ECM ya se habló en el apartado 3.5.3.

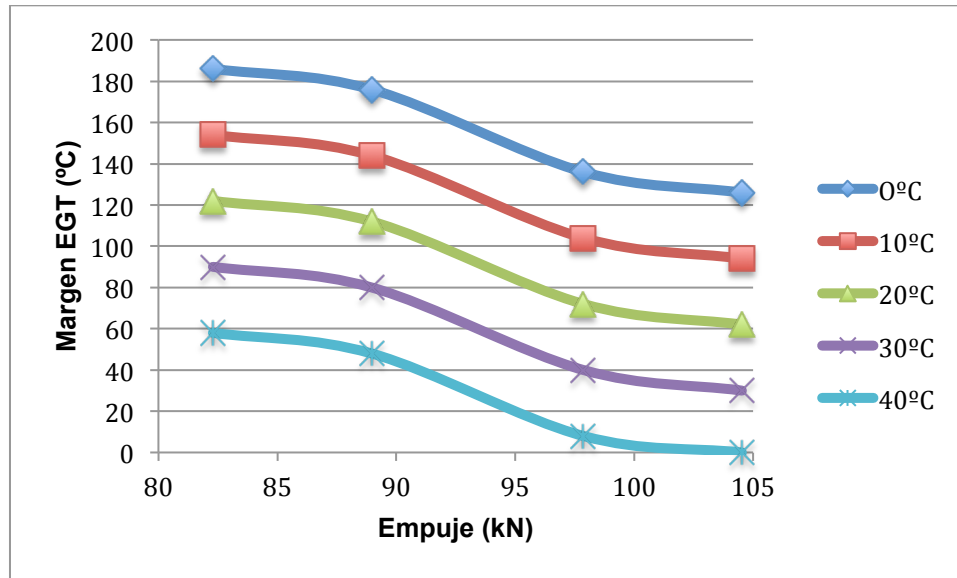
Para aumentar el tiempo que el motor está en vuelo se puede bien realizar tareas de mantenimiento sin desmontar el motor o alargar el tiempo entre remociones necesario.

### 4.3.1.1 Despegue con empuje reducido

Como se ha visto en el apartado 4.1, la vida entre remociones depende fuertemente de la temperatura de salida de los gases; a menor temperatura, mayor vida. Una manera de reducir la temperatura de salida de los gases es reducir el empuje de despegue. Hay dos tipos de despegue con empuje reducido:

- “Derated takeoff”: el nivel de empuje está determinado en el Manual de Vuelo de la Aeronave (AFM). En este documento se especifican las limitaciones para el despegue y datos de la actuación del motor.
- “Reduced takeoff”: el nivel de empuje es menor que el empuje de despegue o el “derated” pero no está determinado de antemano sino que puede variar de un despegue a otro.

Al despegar con un empuje menor que el máximo nivel de empuje disponible se el margen EGT aumenta (gráfica 4.7). Por lo tanto se reduce la temperatura de salida de los gases. La temperatura de exposición de la turbina es más baja, el deterioro de los materiales es más lento lo que conduce a un mayor intervalo de tiempo antes de la siguiente visita al taller. De esta manera se consiguen importantes beneficios en términos de fiabilidad, mantenimiento y costes de operación.

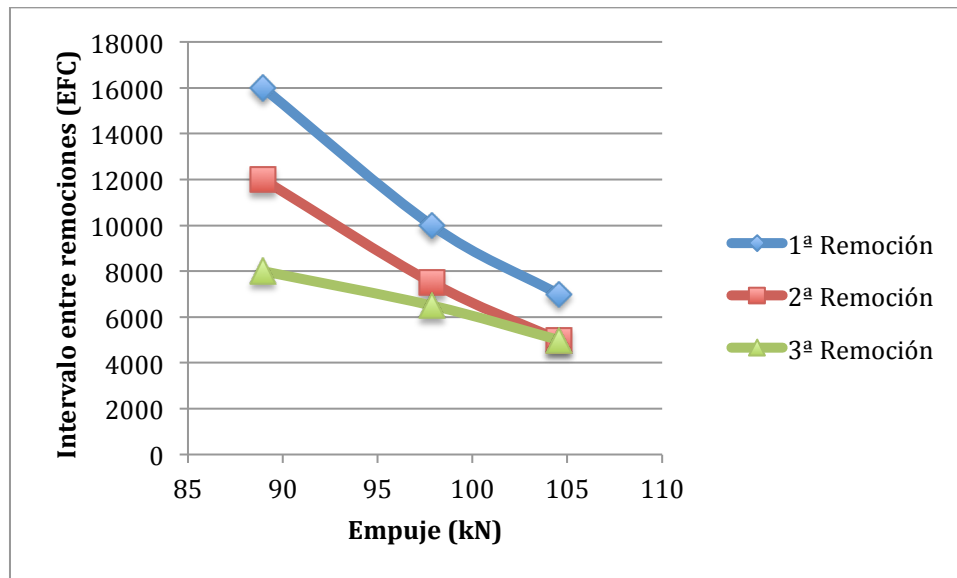


Gráfica 4.6 Variación del margen EGT con el empuje y la OAT

El procedimiento de despegue con empuje reducido está limitado cuando el avión opera en aeropuertos con elevada temperatura ambiente, cuando va a realizar vuelos largos o la carga de pago es elevada. Cuanto mayor sea la temperatura ambiente, más largo el vuelo o transporte mayor carga de pago, mayor será el peso de despegue y consecuentemente el empuje necesario para despegar. Al necesitar un mayor empuje, el margen para reducir el empuje será menor y no obtendrán los mismo beneficios que si se pudiera reducir más el nivel de empuje.

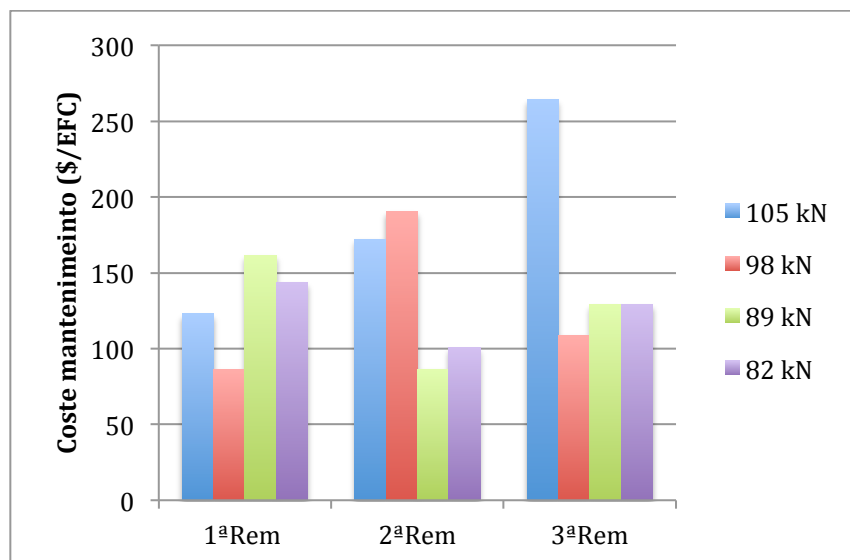
La gráfica 4.7 muestra la variación del intervalo entre remociones con el empuje de despegue. La gran diferencia entre los posibles intervalos de remoción según el empuje (y por lo tanto el margen EGT) demuestra la importancia del despegue con empuje reducido.

## MANTENIMIENTO DE AVIONES



Gráfica 4.7 Variación del intervalo entre remociones con el empuje

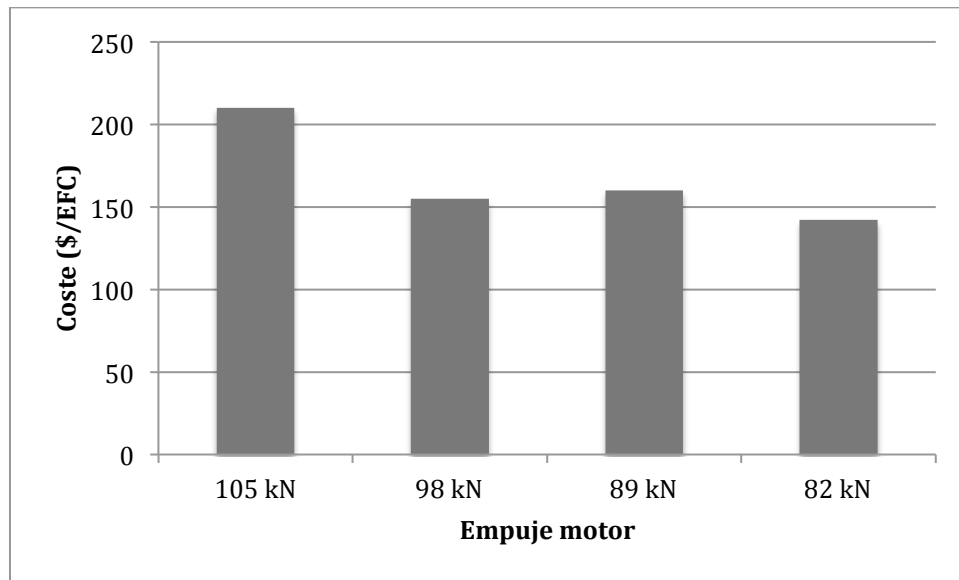
En la gráfica 4.8 se muestra el coste de mantenimiento de los motores por ciclo de vuelo de las tres primeras remociones para los cuatro niveles de empuje. Se puede comprobar que para el motor con mayor empuje el coste es mayor que los demás; sobre todo teniendo en cuenta la tercera remoción de este motor es a los 17000 EFC mientras que para el resto es entre 24000 EFC y 38000 EFC.



Gráfica 4.8 Coste de mantenimiento de los motores por ciclo de vuelo

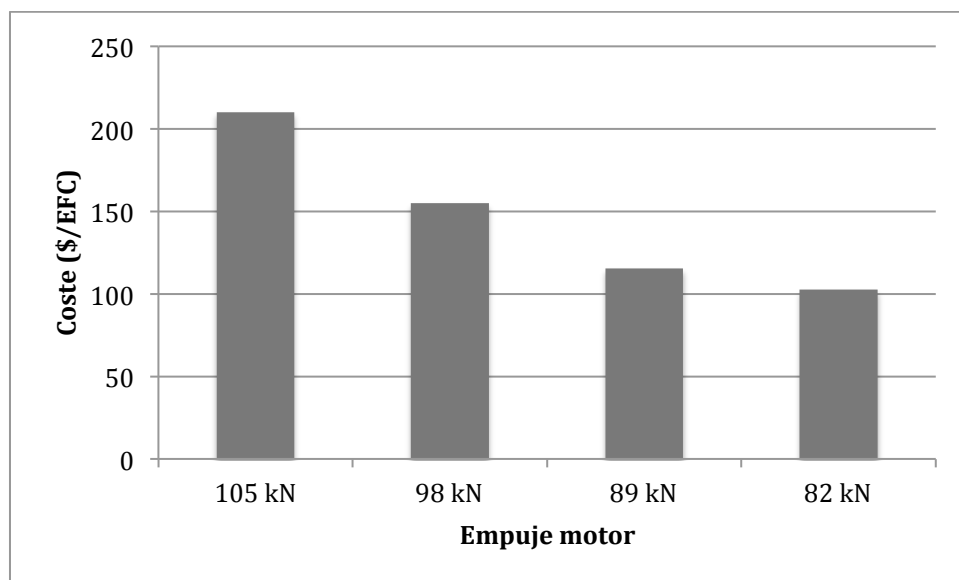
En la gráfica 4.9 se compara el coste de mantenimiento de cada motor acumulado hasta la remoción en la que se realiza el primer overhaul del núcleo.

## MANTENIMIENTO DE AVIONES



Gráfica 4.9 Coste de mantenimiento acumulado hasta la primera remoción en que se realiza el primer overhul del núcleo

Para el motor con mayor nivel de empuje el coste es mayor que para el resto porque la alta temperatura de salida de los gases provoca que el motor tenga que ser desmontado del ala dos veces antes de que se cumpla el límite de vida de las LLP del núcleo. En el motor de 98 kN de empuje, sólo hay que desmontar una vez el motor debido al deterioro del margen EGT antes de proceder a la remoción para sustituir las LLP del núcleo. Consecuentemente, el gasto por ciclo de trabajo es menor. La información reflejada en la gráfica para los dos motores con nivel de empuje puede dar lugar a interpretaciones erróneas pues, debido al alto intervalo entre remociones, en la primera remoción se realiza la sustitución tanto del núcleo como de la turbina de baja presión; haciendo que el gasto sea mayor. Si sólo se tiene en cuenta el coste de la sustitución del núcleo el coste para cada motor sería el mostrado en la gráfica 4.10.



Gráfica 4.10 Coste de mantenimiento acumulado hasta el primer overhaul del núcleo

### 4.3.1.2 Reducción del coste de las visitas al taller

Entre las acciones para reducir el coste de las visitas al taller constan:

- Reparar frente a reemplazar
- Utilizar Partes aprobadas por el Fabricante (PMA). Pueden costar entre un 45% y un 75% menos que las partes del Fabricante de Equipos Originales (OEM)
- Optimización de las LLP con recubrimientos para los álabes
- Utilización correcta de las partes reparadas
- Tareas de mantenimiento adecuadas. Realizar solo las modificaciones necesarias. Análisis de la rentabilidad de cada reparación necesaria.
- Gestión adecuada del motor a través del taller: minimizar el número de tareas.
- Planificar con tiempo, las LLP y partes normales tienen que ser adquiridas con anticipación
- Limpiar con agua, especialmente si se opera en ambiente polvorientos pues los agujeros de refrigeración de los álabes de la turbina de alta presión podrían atascarse.



## 5 ESTADO DEL ARTE: MONITORIZACIÓN EN TIEMPO REAL

La monitorización en tiempo real permite la detección de anomalías en el funcionamiento de los componentes del avión durante el vuelo. La información recogida es enviada en tiempo real a los centros de mantenimiento de forma que se puede buscar la solución a los problemas y programar las tareas de mantenimiento necesarias mientras el avión sigue volando. Si hubiese que llevar a cabo alguna tarea de mantenimiento, cuando el avión llega a su destino se puede tener el personal, los equipos y materiales necesarios para realizar las tareas de mantenimiento preparados y así reducir el tiempo que el avión debe estar inoperativo.

Por otro lado, para medir y controlar los parámetros necesarios y transmitir la información obtenida es necesario disponer a bordo de instalaciones y equipos. Esto supone tener que llevar peso adicional, lo que puede resultar desfavorable pues supone tener que reducir la carga o aumentar la cantidad de combustible disponible.

### 5.1 AIRMAN (Airbus)

AIRMAN (AIRCRAFT Maintenance ANalysis) es una aplicación inteligente desarrollada por Airbus para optimizar el mantenimiento de aviones. Este software controla constantemente el estado del avión e instantáneamente avisa si se detecta un fallo o un mensaje de alarma en el sistema de mantenimiento a bordo. Toda la información recogida es transmitida al sistema de control en tierra a través del sistema de comunicación de la aeronave.

Además de avisar a los operadores de los problemas técnicos, AIRMAN también proporciona acceso a la información necesaria para resolver estas situaciones de manera rápida y eficiente con una única pantalla centralizada. AIRMAN es capaz de reducir el tiempo de solución de problemas gracias a sus capacidades avanzadas, permitiendo la notificación temprana de los sucesos en el avión y acceso rápido a la documentación pertinente, mientras que entrega el historial del mantenimiento del avión e información sobre las tareas de mantenimiento realizadas con anterioridad.

El uso de AIRMAN aprovecha completamente la experiencia de Airbus en la fabricación y en servicio para proporcionar los pasos para la solución del problema, estos son priorizados para asegurar que la primera tarea recomendada es la que tiene la mayor probabilidad de arreglar la situación.

#### Mejora en evaluación de daños

Un componente clave en el sistema de mantenimiento de Airbus es AIRMAN Rep@ir Manager, que ofrece a las aerolíneas un método sencillo para ver localizar disconformidades externas, y registrar detalles de daños internos y reparaciones.

Desarrollado por Airbus, el objetivo de AIRMAN Rep@ir Manager es facilitar el aviso de daños estructurales y decir el tiempo requerido para evaluar los daños y autorizar la vuelta

a servicio de la aeronave. Se consigue un considerable ahorro de tiempo, asegurando reparaciones económicamente rentables mientras que se mejora la disponibilidad general de la aeronave.

Cuando se detecta un fallo, un usuario con acceso a la red de la aerolínea y la base de datos AIRMAN-Airline puede reportar la información correspondiente a través de una interfaz guiada. Esto proporciona la información adecuada para la evaluación del daño e informa de los datos necesarios al centro de control de mantenimiento – o a Airbus, si más investigación fuera necesaria.

### 5.2 STAR-ISMS (Astrium)

Astrium lanzó en 2011 un servicio de datos para aviones en vuelo gracias al cual se pueden transmitir en tiempo real y con posicionamiento vía satélite datos del rendimiento del avión.

El Servicio de Datos en Vuelo hace posible la transmisión en tiempo real de los datos de vuelo a los operadores del avión gracias a unos procesadores de a bordo capaces de analizar el rendimiento de vuelo real comparándolo con los parámetros esperados. Mediante el uso de redes de satélites el servicio poseerá un flujo de datos considerablemente mayor que el de los sistemas actuales, *Aircraft Communications Addressing and Reporting Systems* (ACARS). El servicio utiliza equipo en vuelo que comprime, codifica y luego transmite vía satélite y de forma segura los datos a las estaciones terrenas de Astrium, que a su vez reenvían la información a los operadores de líneas aéreas, lo que facilita la visibilidad en vuelo del rendimiento de la aeronave desde las instalaciones de tierra.

El servicio avisará a los operadores si se rebasan los valores predefinidos. También mejorará la eficiencia del mantenimiento, reparación y operaciones al identificar los componentes del avión que no estén funcionando en sus niveles óptimos y precisen su servicio o sustitución. Además actuará como complemento de las cajas negras de los aviones, al transmitir datos específicos en caso de una emergencia y rastrear constantemente la localización del avión.

### 5.3 SENSORES QUÍMICOS

Con sensores químicos es posible monitorizar diferentes parámetros para controlar el funcionamiento de diferentes sistemas de la aeronave.

Dos de los subsistemas cuyo funcionamiento se puede mejorar con la ayuda de sensores químicos son el subsistema de suministro de aire, el subsistema hidráulico o las células de combustible.

#### Aire

Los nuevos aviones comerciales de gran tamaño pueden transportar más de 800 personas, para garantizar un buen servicio es necesario disponer de aire fresco y agua. La calidad del

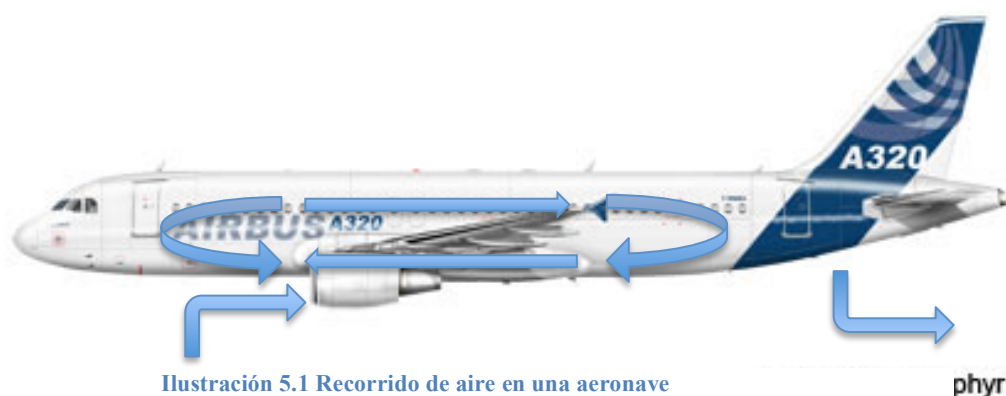
aire suministrado es un aspecto directamente evidente a los pasajeros; junto con la comodidad de los asiento, los pasajeros ven la calidad del aire como uno de los puntos clave del confort dentro de una avión. La calidad del aire es asegurada mediante la circulación de aire dentro de la cabina de pasajeros y la renovación de una parte del aire con aire fresco del exterior.

Actualmente no se realizan mediciones de la calidad del aire; ésta es asegurada sustituyendo un volumen de aire equivalente a la cabina en menos de tres minutos. La toma de aire a bordo a través de los motores produce una considerable fricción que debe ser compensada con empuje adicional y por lo tanto un mayor consumo de combustible. El sistema de control ambiental contribuye aproximadamente un 5% al consumo total de combustible del avión.

En busca de un mejor aprovechamiento del combustible, los sistemas de control ambiental sin sangrado son una buena opción para reducir el consumo de combustible.

### Recorrido del aire en una aeronave

Durante el vuelo, el aire frío del exterior se comprime en el interior de los motores y es calentado adiabáticamente hasta temperaturas muy superiores a la requerida para su uso en la cabina. Para poder hacer uso de este aire, debe ser enfriado y el ozono estratosférico debe ser convertido en oxígeno con la ayuda de un catalizador. A continuación el aire pasa primero por la cabina de pasajeros y después a través de los compartimento de carga, los estantes de aviónica y el sistema de entretenimiento a bordo. Finalmente es desechado por los aseos. El recorrido del aire en una aeronave se muestra en la ilustración 5.1.



Un equipo de monitorización en tiempo real puede ayudar a regular la calidad en las diferentes partes de la cabina de pasajeros según la necesidad de cada clase y a controlar los posibles fallos que puedan acontecer.

Para medir la calidad del aire dentro del avión y ajustar la circulación de aire se puede controlar el contenido de  $H_2O$ ,  $CO_2$  e hidrocarburos volátiles. De esta manera se contribuye al confort de los pasajeros y se puede ahorrar energía.

Los fallos más comunes en el proceso de admisión de aire son fugas en el sistema de sangrado de aire y saturación del convertidor catalítico. El control de rastros de aceite de

lubricación y de ozono pueden ser evidencia de fugas en el sistema de sangrado o de un comportamiento inadecuado del catalizador, respectivamente.

Los compartimentos de carga, los estantes de aviónica y el sistema de entretenimiento a bordo son inaccesibles durante el viaje y por lo tanto deben ser monitoreados sistemáticamente por riesgo de incendio. El indicador más utilizado y el más indicado es el CO. Para cumplir con el índice de falsa alarma requerido, 1 por cada 107 horas de vuelo, se necesita un detector muy rápido, sensible y selectivo de CO.

Respecto a la última etapa, los aseos pueden ser utilizados como laboratorios químicos dentro de los cuales hay líquidos fácilmente disponibles que pueden ser mezclados y convertidos en explosivos. Los vapores que se pueden detectar para evitar que esto suceda esto son el  $H_2SO_4$ , el  $HNO_3$ , el  $H_2O_2$  y la acetona.

Para cumplir todas las funciones mencionadas anteriormente es necesario detectar una gran variedad de gases. Además las concentraciones a detectar varían desde un partes por centena, como por ejemplo la humedad, hasta niveles tan pequeños como partes por billón, por ejemplo los hidrocarburos volátiles. En la tabla 5.1 aparecen diferentes tipos de sensores, las cruces indican que cumple la característica requerida.

|                      | Adsorción     |           | Infrarrojos              |                        |
|----------------------|---------------|-----------|--------------------------|------------------------|
|                      | Estado Sólido | Termopila | Transmisión Fotoacústico | Absorción Fotoacústico |
| <b>DETECCIÓN</b>     |               |           |                          |                        |
| Sensible             | x             |           | (x)                      | x                      |
| Selectivo            | (x)           | x         | x                        | x                      |
| Multi-gas            | x             | (x)       | (x)                      | (x)                    |
| Estable              |               | x         | x                        | x                      |
| <b>FUNCIONALIDAD</b> |               |           |                          |                        |
| Pequeño              | x             |           |                          | x                      |
| Ligero               | x             |           |                          | x                      |
| Baja potencia        | x             |           |                          | x                      |
| Auto comprobación    |               | x         | x                        | x                      |

Tabla 5.1 Sensores químicos

### Fluido hidráulico

Varios componentes críticos para la seguridad como el sistema de flaps y slats, el tren de aterrizaje y los timones de dirección y profundidad dependen del sistema hidráulico y por lo tanto del estado del líquido hidráulico.

Por razones de seguridad el fluido hidráulico debe ser resistente al fuego, con tal fin se utilizan fluidos basados en fosfato-éster. Desafortunadamente dichos fluidos son higroscópicos por lo que tienden a absorber humedad del ambiente. El bombeo del fluido hidráulico puede aumentar la temperatura del fluido por encima de  $100^{\circ}C$ ; este calentamiento provoca que las moléculas de agua absorbidas se desintegren formando alcoholes y ácido fosforoso, degradando el fluido. Los alcoholes forman burbujas,

comprometiendo la capacidad para transmitir fuerza del fluido. El ácido fosforoso se disuelve en el agua restante, formando ácido fosfórico corrosivo que corroe las partes metálicas del sistema hidráulico. Consiguientemente, el estado del fluido hidráulico se evalúa controlando su contenido en agua, el número ácido total (TAL) y la contaminación por partículas.

El actual estado del arte en monitorización de fluido hidráulico consiste en llevar a cabo análisis químicos del fluido en un laboratorio certificado. Este procedimiento es tedioso, se necesitan aproximadamente 10 días, por lo que suele realizarse durante las revisiones C. Teniendo en cuenta que la degradación del fluido hidráulico puede producirse rápidamente y que las revisiones C se realizan no más de una vez al año, existe el peligro de que se degrade el fluido hidráulico y sea necesario realizar tareas de mantenimiento no programadas y en áreas remotas. Lo cual supondría un gasto económico adicional para el operador.

Para evitar esta situación se pueden realizar inspecciones regulares de los tres parámetros mencionados para establecer una tendencia de la degradación del fluido. Con esta información se podrían programar las tareas de mantenimiento necesarias y hacer que coincidan con otras tareas de mantenimiento en una ubicación predeterminada que sea conveniente.

Otro campo de aplicación para los sensores químicos son las células de combustible. Con dichas células sería posible generar toda la electricidad y agua requerida a bordo a partir de una única fuente de energía, el queroseno. Por otro lado, el gas de escape, que contiene poco oxígeno, podría ser utilizado para barrer el aire con oxígeno que está dentro de los tanque de combustible. De esta manera se consigue evitar que se formen atmósferas explosivas en los tanques parcialmente llenos.

### 5.4 MONITORIZACIÓN DE ESTRUCTURAS. AISHA II

Dentro del programa Aircraft Integrated Structural Health Assesment II (AISHA II), patrocinado por la Unión Europea, el Departamento de Metalurgia y Materiales de la Universidad de Leuven ha desarrollado un detector de humedad que está instalado en la estructura del suelo bajo la cocina de un Boeing 737 de Lufthansa. Es un área de muy difícil acceso mientras que la probabilidad de detectar un problema es baja. Pero, si durante un overhaul se encuentra un estado de corrosión avanzada en ese lugar el coste de la reparación sería importante.

La instalación de los sensores de humedad permite asegurar que la zona está seca y por lo tanto ahorrar el tiempo y dinero que implicaría tener que levantar la estructura del suelo para poder realizar la inspección.

La instalación de sensores en críticas es beneficiosa, en el futuro se espera desarrollar sensores para diferentes líquidos por ejemplo, keroseno, fluido hidráulico y otros aceites minerales.

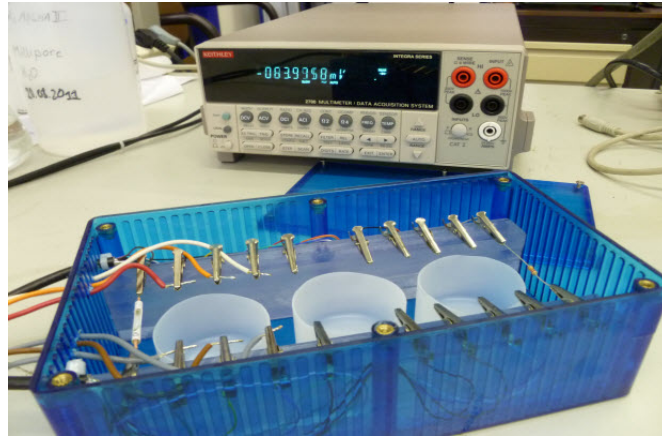


Ilustración 5.2. Ensayos de laboratorio del sensor de humedad.

## 6 CONCLUSIONES

El concepto de mantenimiento preventivo nació en la década de los 60 en la industria aeronáutica como solución al aumento de los costes de mantenimiento y la reducción de la disponibilidad de la aeronave. La creación del Maintenance Steering Group-1 (MSG-1) condujo a la clasificación del mantenimiento en tres clases diferentes: Hard Time, On-Condition y Condition Monitoring.

Al principio no se contaba con la tecnología ni los conocimientos necesarios para mantener la confiabilidad de la aeronave y era necesario realizar mantenimiento de tipo Hard Time. Con el paso de los años, se ha ido evolucionando hacia el mantenimiento de tipo On-Condition y Condition Monitoring. La gran diferencia entre el MSG-2 y el MSG-3 reside precisamente en que muchos de los componentes que tenían un límite de vida fijo han pasado a recibir mantenimiento de tipo On-Condition. Permitiendo que los operadores tengan más flexibilidad a la hora de programar las distintas tareas de mantenimiento.

El mantenimiento de una aeronave tiene un alto grado de complejidad; sólo en el mantenimiento del motor hay numerosos factores que interactúan entre sí e influyen en los intervalos de tiempo entre remociones. Se ha realizado un análisis simplificado para un avión a modo de ejemplo para ver la influencia de la temperatura ambiente, el despegue con empuje reducido y la vida de las LLPs. Éste análisis considera que la aeronave es operada a una temperatura media de 30°C; con un ratio EFH:EFC medio de 1,4; y con los componentes de la mejor calidad.

Un aumento del 5% en la temperatura ambiente supondría un reducir el intervalo entre remociones en 1000EFC. Además, no se ha tenido en cuenta la reducción del intervalo entre remociones debida a las remociones no programadas. Esto demuestra el gran grado de complejidad que supone organizar un programa de mantenimiento adecuado.

En el desarrollo del programa de mantenimiento sólo se han tenido en cuenta los límites de vida de los componentes. No hay que olvidarse que a la hora de tomar decisiones sobre el mantenimiento de los motores hay más aspectos que se deben de tener en cuenta como la disponibilidad de motores de repuesto, los contratos de alquiler de motores existentes, las restricciones presupuestarias, el personal capacitado disponible.

Además de la complejidad técnica, el sector aeronáutico está sometido a una fuerte regularización por parte de las autoridades aeronáuticas. Realizar un cambio en el programa de mantenimiento para una flota de aviones supone tener que realizar un estudio estadístico o incluso un análisis integral de confiabilidad (en caso de que el componente tiene un gran impacto en caso de fallo). Y después presentarlo ante el fabricante y la autoridad aeronáutica correspondiente. Si no se cuentan con los recursos técnicos o económicos para realizar todo este proceso se puede estar perdiendo oportunidades potenciales para mejorar el programa de mantenimiento.

## MANTENIMIENTO DE AVIONES

Como se ha visto en el apartado sobre los costes de mantenimiento, el coste de mantenimiento del motor representa la mayor parte de los costes totales de mantenimiento. Este hecho hace ver que a la hora de comprar un motor, el operador no debe fijarse solamente en el precio de compra sino que debe comprar el motor teniendo en cuenta el programa de mantenimiento requerido.



## ANEXOS

### ANEXO A: Motor CFM56-3

El motor para del cual se tiene la información es el CFM56-3, un turbofán con alta relación de derivación fabricado por CFM International.

Es uno de los tipos de motores más prolíficos en el mundo. Fue certificado por la FAA estadounidense en enero de 1984. Comenzó con el Boeing 737-300; la familia 737 ha contado con el CFM56 durante más de 25 años, y las variantes del CFM56 todavía impulsan los nuevos modelos, el 737-900ER y el 737-700ER.

También es una de las opciones de la familia Airbus A320 y el único motor disponible del A340-200 y -300.

Actualmente, hay alrededor de 4500 CFM56-3s operan en 195 países diferentes. La flota de motores ha acumulado más de 150 millones de EFH y 108 millones de EFC.



### ANEXO B: Costes Mantenimiento

|                                | MH<br>(h) | Coste<br>(\$/MH) | Coste<br>MH (\$) | Materiales<br>(\$) | Subcontrato | Total (\$) (excepto<br>LLP) |
|--------------------------------|-----------|------------------|------------------|--------------------|-------------|-----------------------------|
| <b>Restauración<br/>Núcleo</b> | 3000      | 70               | 210000           | 550000             | 100000      | 860000                      |
| <b>Overhaul<br/>Núcleo</b>     | 3500      | 70               | 245000           | 550000             | 300000      | 1095000                     |
| <b>Overhaul<br/>LPT</b>        | 1075      | 70               | 75250            | 100000             | 50000       | 225250                      |
| <b>Overhaul Fan</b>            | 425       | 70               | 29750            | 55000              | 20000       | 104750                      |
| <b>Overhaul<br/>Completo</b>   | 5000      | 70               | 350000           | 825000             | 275000      | 1450000                     |

## ANEXO C: Minutas entrevistas

**Entrevistados:** Álvaro Zerón y Herán de Andrade

**Empresa:** Aerolíneas Argentinas S.A.

**Fecha:** 31 Octubre 2012

**Lugar:** Aeropuerto Ministro Pistarini

### Objetivos de la entrevista

- Conocer como está estructurado el mantenimiento dentro de Aerolíneas Argentinas
- Conocer como se decide el tipo de mantenimiento a realizar en cada componente

### Temas tratados

- Organización del mantenimiento dentro de la empresa

**Entrevistado:** Juan Aldo Burgio

**Empresa:** Austral S.A.

**Fecha:** 13 Noviembre 2012

**Lugar:** Aeroparque Jorge Newbery

### Objetivos de la entrevista

- Conocer como está estructurado el mantenimiento dentro de Aerolíneas Argentinas
- Conocer como se decide el tipo de mantenimiento a realizar en cada componente
- Obtener datos numéricos relacionados con el mantenimiento del motor, el tren de aterrizaje y el sistema de entretenimiento a bordo

### Temas tratados

- Organización dentro de la empresa
- Tipos de mantenimiento
- Mantenimiento de motores, tren de aterrizaje y sistema de entretenimiento a bordo
- MSG-2 vs. MSG-3

## BIBLIOGRAFÍA

- Kinnison, Harry A. Aviation Maintenance Management. New York: McGraw-Hill, 2004.
- Manuales de certificación (FAR JAR)
- Manuales de los fabricantes de aviones, motores y componentes
- A. Ahmid, P. Söderholm, and U. Kumar. An Overview of Trends in Aircraft Maintenance Program Development: Past, Present and Future. Lulea University of Technology
- Gergard Müller, Sebastien Beer, Sumit Paul, Andreas Helwig. Novel Chemical Sensor Applications in Commercial Aircraft. EADS Innovation Works
- Dehuang Chen, Xiaowei Wang, Jing Zao, Aircraft Maintenance Decision Based on Real-time Condition Monitoring, The First Aeronautical College of Air Force Xinyang
- Aircraft Tire Care and Maintenance. 2011. Goodyear Aviation
- Orden de Ingeniería E0012. Austral Líneas Aéreas
- Arman Abbasi, Raouf Angudi, Kamal Belhadji, Philip Docter, Bart Polderman, Anne Schicketanz, Erwin Steen Diederick van Zuilen. Airbus A320 Landing Gear Project Report
- CFM56-3 Maintenance Analysis & Budget. Aircraft Owner's and Operator's Guide.
- Ting, D. 2009. Reduced and Derated Thrust.
- Airline Maintenance Cost Executive Commentary. IATA's Maintenance Cost Task Force.
- Lironi, P. 2009. How do MRO cost break down for different engine types? SGI Aviation
- Kalina, A. 2010. Engine MRO Planning and Cost Management. MTU Aero Engines Company.
- Spafford, C. y Hoyland, T. y Lehman, R. MRO Industry Landscape 2012. Oliver Wyman.
- Reduced and derated takeoff thrust (power) procedures. Advisory Circular 25-13. U.S. Department of Transportation.
- <http://www.airbus.com/innovation/proven-concepts/in-fleet-support/airman/>

## MANTENIMIENTO DE AVIONES

- <http://www.lufthansa-technik.com/aircraft-structure-monitoring>
- <http://www.astrium.eads.net/es/prensa/astrium-lanza-un-servicio-de-datos-para-aviones-en-vuelo.html>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

|                                                                                                            |                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Ilustración 2.1 Diagrama de decisión MSG-2 .....                                                           | 17                         |
| Ilustración 2.2 Diagrama de decisión MSG-3 .....                                                           | 18                         |
| Ilustración 3.1 Organigrama Aerolíneas Argentina S.A. ....                                                 | 19                         |
| Ilustración 3.2 Organigrama Austral S.A. ....                                                              | 23                         |
| Ilustración 3.3 Ciclo de trabajo de una aeronave .....                                                     | 32                         |
| Ilustración 3.4 Matriz de criticidad .....                                                                 | 33                         |
| Ilustración 3.5 Tren de aterrizaje.....                                                                    | 34                         |
| Ilustración 3.6. Rangos de operación de neumáticos según aplicación .....                                  | 34                         |
| Ilustración 3.7 Sistema de entretenimiento a bordo .....                                                   | 36                         |
| Ilustración 3.8 Lista de seguimiento de una inspección visual .....                                        | 38                         |
| Ilustración 3.9 Tendencia diaria de varios parámetros de control del motor (ECM II) .....                  | 39                         |
| Ilustración 3.10. Variación de los parámetros de control del motor (CP).....                               | 39                         |
| Ilustración 3.11 Influencia de los posibles problemas en los valores de los parámetros monitorizados ..... | 40                         |
| Ilustración 3.12 Variación de los parámetros de control del motor (LP).....                                | 40                         |
| Ilustración 3.13 Fatiga                                                                                    | Ilustración 3.14 Corrosión |
| Ilustración 3.15 Sulfatación .....                                                                         | 44                         |
| Ilustración 4.1 Distribución de temperatura en un turbofán.....                                            | 46                         |
| Ilustración 4.2 Costes de MRO 2001-2011 .....                                                              | 53                         |
| Ilustración 4.3 Desglose del coste del mantenimiento de los motores.....                                   | 54                         |
| Ilustración 5.2. Ensayos de laboratorio del sensor de humedad.....                                         | 65                         |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 3.1 Revisiones para diferentes modelos de avión .....                  | 28 |
| Tabla 3.2 Patrón de inspecciones múltiples A .....                           | 30 |
| Tabla 3.3 Frecuencia de mantenimiento del tren de aterrizaje.....            | 35 |
| Tabla 3.5 Ranking de los motores de una flota según su índice EGT.....       | 41 |
| Tabla 3.6 Parámetros de control de los motores .....                         | 44 |
| Tabla 4.1 Margen EGT antes y después de la primera visita al taller.....     | 47 |
| Tabla 4.2 Límite de vida de las LLP .....                                    | 47 |
| Tabla 4.3 Límite de vida de las LLP .....                                    | 48 |
| Tabla 4.4 Intervalos entre remociones para distintos niveles de empuje ..... | 52 |
| Tabla 5.1 Sensores químicos.....                                             | 63 |

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfica 3.1 Clasificación de los motores según su EGT .....                                                                   | 42 |
| Gráfica 3.2 EGT vs. Wf .....                                                                                                  | 42 |
| Gráfica 3.3 N1 vs Clasificación .....                                                                                         | 43 |
| Gráfica 3.4 N2 vs. Clasificación .....                                                                                        | 43 |
| Gráfica 4.1 Variación del margen EGT con OAT y el empuje.....                                                                 | 46 |
| Gráfica 4.3 Coste de mantenimiento para un motor con 105 kN de empuje .....                                                   | 49 |
| Gráfica 4.4 Coste de mantenimiento para un motor con 98 kN de empuje .....                                                    | 50 |
| Gráfica 4.5 Coste de mantenimiento para un motor con 89 kN de empuje .....                                                    | 50 |
| Gráfica 4.6 Coste de mantenimiento para un motor con 82 kN de empuje .....                                                    | 51 |
| Gráfica 4.7 Variación del margen EGT con el empuje y la OAT.....                                                              | 55 |
| Gráfica 4.8 Variación del intervalo entre remociones con el empuje .....                                                      | 56 |
| Gráfica 4.9 Coste de mantenimiento de los motores por ciclo de vuelo.....                                                     | 56 |
| Gráfica 4.10 Coste de mantenimiento acumulado hasta la primera remoción en que se realiza el primer overahul del núcleo ..... | 57 |
| Gráfica 4.11 Coste de mantenimiento acumulado hasta el primer overhaul del núcleo .....                                       | 57 |