

## SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE AÉREO: TIPOS Y FILOSOFÍAS DE MANTENIMIENTO

Ing. José Manuel Méndez Jiménez  
manueljimendez11@gmail.com  
Dr. Abraham Gordillo Mejía  
agordillo@ipn.mx  
M. en E. Rubén Obregón Suárez  
condor1ros@hotmail.com

Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería  
y Ciencias Sociales y Administrativas  
Instituto Politécnico Nacional  
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Boletín No. 87  
1o. de noviembre de 2021

### Resumen

El transporte aéreo se ha consolidado como el medio de transporte más seguro del mundo. Para lograr esto se han tenido que hacer mejoras constantes en los sistemas de mantenimiento, impactando directamente en la seguridad de las operaciones. En estos sistemas de mantenimiento la evolución se ha presentado tanto en el enfoque del mantenimiento, primero reactivo y luego preventivo, como en la documentación y referencias técnicas, así como en una compleja regulación aérea internacional y nacional. En el artículo presente se mencionan los distintos tipos de mantenimiento empleados en el mantenimiento de las aeronaves y se hace un recorrido descriptivo de la evolución de las filosofías de mantenimiento aeronáutico, las cuales son resultado de una combinación de los tipos de mantenimiento y el enfoque de prioridad que se les otorga en cada filosofía. Su importancia radica, por ende, en que la evolución de las filosofías ha permitido incrementar la seguridad en los vuelos.

### Abstract

Air transport has established itself as the safest means of transport in the world. To achieve this, constant improvements have had to be made in maintenance systems, impacting directly on the security of operations. In these maintenance systems, the evolution has been presented as much as in the maintenance approach, first reactive and then preventive, as well as in the documentation and technical references, and in a complex international and national air regulation. In this article, the different types of maintenance used in aircraft maintenance are mentioned and a descriptive tour of the evolution of aeronautical maintenance philosophies is made, which are the result

of a combination of the types of maintenance and the approach of priority given to them in each philosophy. Its importance, therefore, lies in the fact that the evolution of philosophies has made it possible to increase safety on flights.

## I. Introducción

Los accidentes en la aviación comercial son poco frecuentes, pero cuando se presentan suelen tener un alto impacto en la confianza de los usuarios. Sin embargo, es preciso aclarar que es el medio de transporte más seguro en relación con los pasajeros transportados. En los inicios de la aviación el mantenimiento de las aeronaves se efectuaba a consideración de los pilotos y por ellos mismos, por lo que se tenía una alta incidencia de accidentes aéreos. Con el pasar del tiempo y la experiencia ganada empezaron a desarrollarse programas de mantenimiento para las aeronaves derivados del análisis de ocurrencia de fallas en componentes y equipos, permitiendo establecer periodos de mantenimiento para éstos y el uso de distintas técnicas que permitieran prevenir fallos. En las distintas filosofías de mantenimiento se ha dado un peso diferente a cada tipo de mantenimiento, ya sea que se priorice el mantenimiento reactivo, el preventivo o un ajuste de ambos.

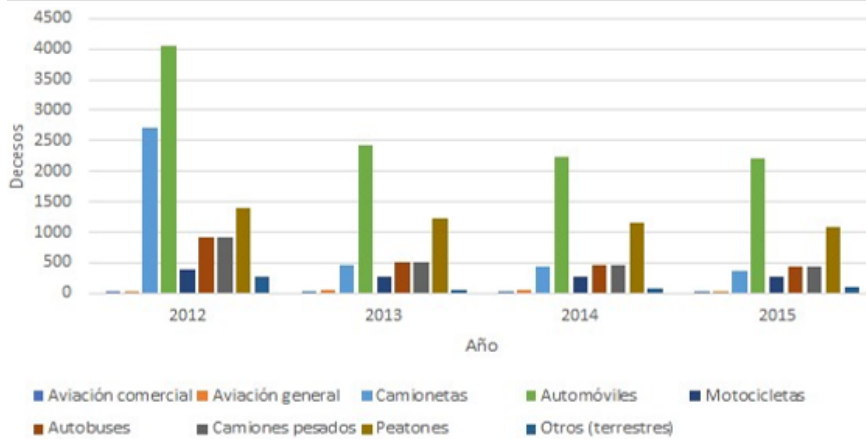
## II. Comparativa de la seguridad en distintos medios de transporte

El medio de transporte más seguro del mundo son las aeronaves al presentarse 2.6 accidentes por cada millón de salidas cifra que, de acuerdo con la OACI, contabiliza únicamente aeronaves de ala fija -conocidas como aviones- en operaciones comerciales regulares con peso máximo de despegue superior a 5,700 kg (International Civil Aviation Organization, 2019). En el mundo en 2018 se registraron 98 accidentes que cumplen dichas características, de los cuales 11 son reconocidos como accidentes fatales, lo que derivó en la pérdida de 523 vidas humanas de los 44 mil millones de pasajeros que utilizaron este transporte (International Air Transport Association, 2019). De los 98 accidentes, 16 estuvieron relacionados con fallas de equipos o sistemas que resultaron en el deceso de 191 pasajeros (de 3 de los 16 accidentes).

En México, la Agencia Federal de Aviación Civil -anteriormente Dirección General de Aeronáutica Civil- es la unidad responsable de llevar a cabo el registro de los accidentes aéreos ocurridos dentro de las fronteras de territorio mexicano y de los ocurridos en otros territorios que involucren aeronaves de matrícula mexicana. La metodología de registro que presenta es más incluyente que la efectuada por la OACI dado que se registran los accidentes ocurridos por diversos tipos de aeronaves (helicópteros, globos aerostáticos, aviones, entre otros), por los de aquellas aeronaves que pesan menos de 5,700 kg o más e indiferentemente del tipo de servicio que estuviera prestando el vehículo aéreo. En el país, en 2018, se transportaron 97.3 millones de pasajeros y se tiene registro de 69 accidentes que dieron un saldo humano de 146 fatales -109 de los cuales ocurrieron en un accidente en Cuba de una aeronave de matrícula mexicana arrendada a una aerolínea de aquel país- (Dirección General de Aeronáutica Civil, 2019).

En el índice mundial se presenta, por ende, el deceso de un pasajero por cada 84 millones de pasajeros contra la relación de uno por cada 2.6 millones en territorio mexicano, teniendo presente las diferencias metodológicas anunciadas. Para lograr tal nivel de seguridad en el transporte aéreo se llevan a cabo distintas regulaciones y prácticas entre las que destacan la constante capacitación del personal involucrado en cada proceso de las operaciones aéreas; pruebas operativas de equipos, sistemas y componentes de la aeronave; simulaciones de operaciones aéreas; y, entre otras prácticas más, se llevan a cabo complejos programas de mantenimiento para conservar la seguridad de operación de las aeronaves. Estos programas han logrado una alta fiabilidad en el uso de las aeronaves, pero esto no siempre ha sido así.

En 2015 en México se registraron 4,601 muertes relacionadas con transportes carreteros (automóviles, camionetas, motocicletas, autobuses, camiones pesados, peatones, entre otros) en contraste con 48 registradas en el transporte aéreo (11 correspondientes a la aviación comercial y 37 a la general). En la gráfica 1 se muestra el comparativo de 2012 a 2015 de la ocurrencia de decesos en los transportes terrestres sobre los aéreos. En este periodo hay una tendencia descendente de muertes en los transportes expuestos, pero con una gran predominancia de los terrestres sobre los de transporte aéreo que apenas son distinguibles. En 2012, por ejemplo, hubo 10,008 finados en transportes terrestres en contraste con 34 en el transporte aéreo.



**Gráfica 1.** Muertes en distintos medios de transporte en México de 2012 a 2015 Elaboración propia con base en datos

### III. Tipos de mantenimiento en las aeronaves

En los primeros años del surgimiento de la industria del transporte aéreo las aeronaves eran sometidas a servicios de mantenimiento por los propios pilotos quienes, de acuerdo con su experiencia y a su intuición, determinaban arbitrariamente a qué componentes dar mantenimiento y con qué técnicas y tolerancias, lo que resultaba en un elevado índice de accidentes por cada vuelo. Evidentemente esas prácticas no eran sostenibles ni confiables puesto que se tenían las pérdidas de los equipos y, principalmente, de vidas humanas (Atak & Kingma, 2010).

Inicialmente los servicios de mantenimiento consistían en reparar aquellos componentes que presentaban alguna falla, es decir, era un mantenimiento reactivo. Con la experiencia se observó que algunos de estos componentes presentaban cierto comportamiento o condición física cada cierto periodo de tiempo o de uso, con lo que el mantenimiento se empezó a dar para prevenir fallas que pudieran desencadenar en accidentes. Dicho lo anterior, el mantenimiento aeronáutico se puede clasificar como programado y no programado. El mantenimiento no programado es aquel que se efectúa en respuesta a una falla presentada en algún componente o sistema de la aeronave, por lo que se puede originar antes de que ésta despegue o incluso en pleno vuelo (para lo cual ya se tienen procedimientos de testeo, reseteo, configuración o arreglos que la tripulación debe seguir). El mantenimiento programado es aquel que se planea con mucho tiempo de antelación con el objetivo de prevenir fallas en la aeronave (Karayianes, 2017).

Otra clasificación del mantenimiento aeronáutico es en las categorías de correctivo, preventivo y progresivo.

- • **Mantenimiento correctivo:** es equiparable al mantenimiento no programado, por lo que se realiza para que un componente recupere su funcionalidad para la que fue diseñado inicialmente (British Standards Institution, 2010).
- • **Mantenimiento preventivo:** se encuentra dentro del mantenimiento programado. Se reduce la probabilidad de falla y un mayor desgaste de los componentes al realizar tareas de mantenimiento con intervalos de tiempo específicos o después de cierto uso. Los intervalos de tiempo pueden ser tanto meses naturales (conocido en el medio aeronáutico como tiempo calendario) como por horas de vuelo que se van contando y, al alcanzar el tiempo especificado en los manuales de la aeronave, se da el mantenimiento. Mientras que el uso se mide por los ciclos que realiza la aeronave, que son lo mismo que el conteo de los despegues de la misma (Vineyard, Amoako-Gyampah, & Meredith, 2000). El empleo de este tipo de mantenimiento tiene la característica de requerir una gran cantidad de tiempo en analizar los insumos y personal requeridos, la disponibilidad de equipos y herramientas, y los límites de tiempo de las tareas de mantenimiento; así como el hecho de enfrentar un complejo proceso administrativo para hacer la planeación del mantenimiento.

- Mantenimiento progresivo: en esencia es igual que el preventivo, pero con la ventaja de que el programa de mantenimiento se puede segmentar para realizarlo en los tiempos en que la aeronave se encuentra en tierra por causas distintas al mantenimiento (LYCOMING).

En la figura 1 se muestran los tipos de mantenimiento mencionados así como otros tipos de mantenimiento que pueden consultarse en la Publicación de Estándares BSI BS EN 13306:2010 (2010).

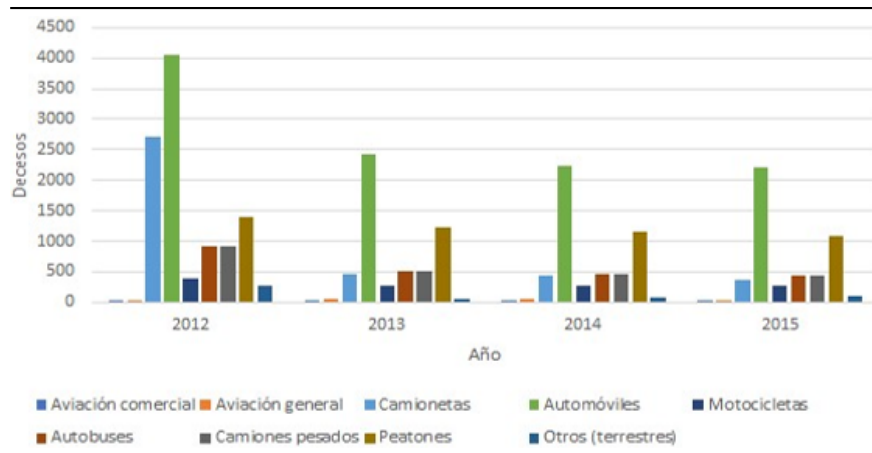


Figura 1. . Tipos de mantenimiento .

#### IV. Filosofías de mantenimiento

A lo largo del desarrollo del transporte aéreo los programas de mantenimiento han sido una combinación de la forma de emplear los distintos tipos de mantenimiento y el propio enfoque de cada uno de ellos. Esta 'forma de emplear los distintos tipos de mantenimiento' es lo que se conoce como las filosofías de mantenimiento y son tres las que han sido fundamentales para lograr los niveles de seguridad alcanzados.

##### Filosofía del MSG-1

Esta filosofía conocida como "Evaluación del mantenimiento y desarrollo del programa", al igual que la del MSG-2, considera que la principal razón por la que falla un equipo deriva de la falla de uno de sus componentes, por esto se dice que es un aproximamiento de abajo hacia arriba orientado a los procesos (Pierotti, 2005). El análisis se centra en la condición de los componentes y su tiempo límite de uso, procurando aprovecharlos al máximo hasta antes de su falla con el fin de disminuir los costos lo mayor posible, pero únicamente se centra en aquellos que aumentan la fiabilidad de la aeronave dejando de lado los que no lo hacen y que sólo incrementan los costos; además, aparece la exigencia de que el personal de mantenimiento sea capacitado y que se cumplan niveles de inspección de mantenimiento como el servicio, inspección, reparación, pruebas, calibración y reemplazo.

##### Filosofía del MSG-2

Dada a conocer en el "Documento de planeación del programa de mantenimiento de la aerolínea/fabricante", esta filosofía es una versión mejorada del MSG-1, por lo que tiene consideración de la condición de los componentes, su tiempo límite de vida y, adicionalmente, del monitoreo por condición. Este último consiste en llevar un registro y análisis de las fallas presentadas por los componentes y, de esta manera, se determina el mejor momento para dar el mantenimiento a un componente. La ventaja del monitoreo por condición es que, a diferencia del límite de tiempo establecido, se hace un ajuste del tiempo de uso el cual generalmente incrementa en frecuencia de aplicación con respecto a una mayor edad de la aeronave. El monitoreo por condición es utilizado principalmente en aquellos componentes y equipos que no afectan a la seguridad de vuelo de la aeronave como lo son los sistemas de entretenimiento de los pasajeros. Adicionalmente, se incluye el testeado de cada equipo, su monitoreo y recolección de datos de rendimiento para tener un registro más preciso de los mismos que ayude en las prácticas del mantenimiento (Kinnison & Siddiqui, 2013).

### Filosofía del MSG-3

En esta filosofía, expuesta en el “Documento de Desarrollo del Mantenimiento Programado del Operador/Fabricante”, ampliamente utilizada en la actualidad, el aproximamiento es de arriba hacia abajo orientado a las tareas, por lo que se busca conocer el impacto de la falla de un componente menor en todo un sistema de la aeronave. Consiste en considerar tanto la vida útil de los componentes como su relación costo-eficiencia. El propósito principal es mantener como nuevos a los componentes y su respectivo nivel de seguridad. En esta filosofía se introduce el uso del sistema ATA para homogeneizar y facilitar el entendimiento del mantenimiento aeronáutico para distintas aeronaves, éste consiste en hacer uso de códigos de tres pares de dígitos en la forma Ss-Sb-Em, en el que los primeros 2 dígitos hacen referencia a un sistema de la aeronave (Ss), el siguiente par al subsistema (Sb) y el último par (Em) a un elemento específico. Las tareas de mantenimiento comprendidas en esta filosofía son de lubricación, servicios elementales como limpieza, comprobaciones funcionales y operacionales, revisión visual, restauración y tareas de descarte (Muchiri, 2002).

### V. Conclusiones

De acuerdo con una estimación de la IATA (2019), una persona podría volar diariamente en vuelos comerciales por más de 16,500 años antes de experimentar un accidente en el que todos los pasajeros perezcan. La implementación conjunta de los distintos tipos de mantenimiento y su anticipación a los fallos da origen a las distintas filosofías de mantenimiento, las cuales han ido evolucionando hasta la filosofía MSG-3 que procura una mayor seguridad en el mantenimiento de las aeronaves. De esta forma se ha logrado afianzar al transporte aéreo como el medio de transporte más seguro en el mundo.

### Referencias

1. Atak, A., & Kingma, S. (2010). *Safety culture in an aircraft maintenance organisation: A view from the inside*. Department of Culture, Organisation and Management, VU University Amsterdam, 01 - 13.
2. British Standards Institution. (2010). *BS EN 13306:2010 Maintenance - Maintenance terminology* BSI Standards Publication, 01-36.
3. Dirección General de Aeronáutica Civil. (2019). *Aviación Mexicana en Cifras 2018. Aviación Mexicana en Cifras* 01-13. Obtenido de <http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGAC-archivo/modulo5/presentacion-amc-2018.pdf>
4. International Air Transport Association. (Junio de 2019). *IATA Annual Review 2019. International Air Transport Association Annual Review*, 01-58. Obtenido de <https://www.iata.org/en/publications/annual-review/>
5. International Civil Aviation Organization. (2019). *ICAO Safety Report 2019 Edition. State of Global Aviation Safety* 01-108. Recuperado el 10 de Agosto de 2021, de <https://www.icao.int/safety/Pages/Safety-Report.aspx>
6. Karayianes, F. (2017). *Aircraft Maintenance Engineering: Factors Impacting Airlines E-Maintenance Technologies* Authoring and Illustrations. ProQuest, 01-157.
7. Kinnison, H. A., & Siddiqui, T. (2013). *Aviation maintenance management*. United States of America: McGrawHill.

8. LYCOMING. **(s.f.)**. *Lycoming: The basics of maintenance in general aviation*. *Lycoming.com* Recuperado el 10 de Agosto de 2021, de <https://www.lycoming.com/content/basics-maintenance-general-aviation>
9. Muchiri, A. K. **(2002)**. *Maintenance Planning Optimisation for the Boeing 737 Next Generation*. The Netherlands: Delft University of Technology.
10. Pierotti, M. J. **(2005)**. *Aircraft Maintenance Engineering: developing aircraft maintenance programme using reliability centred maintenance / MSG3 analysis and taking into consideration ETOPS and low utilisation*. City University of London, 01 - 353.
11. Vineyard, M., Amoako-Gyampah, K., & Meredith, J. **(2000)**. *An evaluation of maintenance policies for flexible manufacturing systems: A case study*. *International Journal of Operations & Production Management* Vol.20 pp. 409 - 426.