



Universidad
Pontificia
Bolivariana

ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD Y RIESGO DE LA FLOTA BOEING 737

JUAN TORNERO ALMENDROS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA AERONÁUTICA
MEDELLÍN (COLOMBIA)
2018

ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD Y RIESGO DE LA FLOTA BOEING 737

JUAN TORNERO ALMENDROS

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero

Asesor

JUAN SEBASTIAN GAVIRIA GARCIA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA AERONÁUTICA
MEDELLÍN (COLOMBIA)

2018

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

FECHA:

NOMBRE:

“Declaro que esta tesis (o trabajo de grado) no ha sido presentada para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o cualquier otra universidad” Art 82 Régimen Discente de Formación Avanzada.

FIRMA:

EXTRACTO

El propósito de este trabajo final de grado es elaborar un análisis de confiabilidad y riesgo en el campo aeronáutico, más concretamente de la flota del Boeing 737. Se centrará en el estudio de accidentes que son eventos causados por factores como: mal tiempo, fallo de motor, error humano, aves, ataque terrorista, entre otros factores. Las consecuencias de estos accidentes dependerán en mayor o menor medida de la cantidad y la severidad con la que aparezcan estos factores no deseados.

A lo largo de este proyecto, las diferentes causas de accidentes serán expuestas así como la relación que tienen con el tipo accidente, fase de vuelo y el tipo de vuelo. En este trabajo encontraremos: una breve introducción en la que se expone información histórica relacionada con la seguridad aérea, una descripción de la flota del Boeing 737 y fundamentos de la teoría de riesgo, así como definiciones de conceptos básicos para poder entender de qué estamos tratando.

El grueso de este trabajo se centrará en el análisis de confiabilidad y riesgo del Boeing 737, basado en datos estadísticos de los últimos 25 años (hasta final del año 2017) e incluyendo el número de aviones operativos en cada serie. Las probabilidades de que ocurran estos factores no deseados serán determinadas y luego las diferentes categorías de riesgo se evaluarán y compararán entre ellas.

ESTRUCTURA

El proyecto está estructurado de una manera lógica y simple, formado por 6 apartados divididos en subapartados más un anexo. En la primera parte se expone información sobre la seguridad aérea, los diferentes modelos de la flota de estudio y una explicación de la teoría de confiabilidad y riesgo. La parte siguiente contiene todas las definiciones de los conceptos clave, como las diferentes fases de vuelo, qué es un accidente, etc. Se pasa a clasificar los accidentes obtenidos de la base de datos elaborada en Excel según diferentes criterios y se presentan los cálculos probabilísticos, así como conclusiones y datos que darán por finalizado el estudio.

1. Introducción	7
1.1. Boeing 737 - Flota aérea	8
1.2. Teoría del análisis de riesgo	13
2. Definiciones	14
2.1. Accidente	14
2.2. Fase de vuelo	15
2.3. Daño a la aeronave	21
2.4. Tipo de vuelo	22
2.5. Clasificación MTE	23
3. Análisis de datos - Boeing 737	25
3.1. Accidentes por 'tipo de aeronave'	26
3.2. Accidentes por 'fase de vuelo'	27
3.3. Accidentes por 'tipo de vuelo'	28
3.4. Accidentes por 'causa'	29
4. Análisis de confiabilidad y riesgo	30
4.1. Probabilidad de accidente	30
4.1.1. Probabilidad de accidente por 'tipo de aeronave'	33
4.1.2. Probabilidad de accidente por 'fase de vuelo'	34
4.1.3. Probabilidad de accidente por 'tipo de vuelo'	35
4.1.4. Probabilidad de accidente por 'causa'	36
4.2. Análisis de riesgo	37
4.2.1. Categorías de pérdida	38
4.2.2. Evaluación de peligros - Hazard measure	40
4.3 Evaluación final de riesgo	41
5. Conclusiones	43
6. Bibliografía	46
Anexo 1.	

1. INTRODUCCIÓN

La especie humana debe estar orgullosa del gran desarrollo y avances conseguidos en la industria aeronáutica y el tránsito aéreo. Desde el primer vuelo de una aeronave con motor y controlada, el Flyer de los Hermanos Wright en 1903 hasta la fecha, pasando por la carrera espacial y llegada a la luna, se han sucedido una serie de cambios muy importantes en este sector. Gran parte de este desarrollo fue durante la Primera y Segunda Guerra Mundial para uso militar, seguido de la construcción de aeronaves específicas para el transporte de pasajeros y el nacimiento de aerolíneas, hasta nuestros días. Donde el transporte aéreo se ha convertido en el medio más usado tanto para transporte de bienes y mercancías como de pasajeros en todo el mundo.

Desafortunadamente, a lo largo de la historia de la aviación han tenido lugar muchos accidentes con pérdidas, víctimas y consecuencias terribles. Pero desde el nacimiento de la aviación civil mucha gente trabaja sin descanso para mantener la seguridad como la principal prioridad del sector. Un total de 52 países generaron en conjunto “ciertos principios y acuerdos para facilitar el desarrollo seguro y ordenado de la aviación civil internacional” [5] es así como la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional - ICAO International Civil Aviation Organization) se formó en 1944 bajo lo que se conoce como el Convenio de Chicago.

Este proyecto se desarrolla en el ámbito de la investigación de accidentes aéreos cuyos propósitos son: evitar que otros accidentes ocurran, prevenir muertes, hacer más segura la aviación y eliminar los factores que contribuyen a que sucedan estos accidentes. Eventos no deseados tales como fallos mecánicos, agentes externos y mal tiempo son algunas de las causas de accidentes y de pérdidas humanas y económicas.

Dado que ninguna actividad humana ni las diferentes piezas de equipamiento tienen ‘riesgo cero’ de fallo, se han desarrollado diferentes tecnologías para optimizar este riesgo y reducirlo al mínimo. Integradas por diferentes campos como el de ‘identificación de peligros’, ‘análisis estadístico’, ‘cálculo de porcentajes de fallo’ y ‘modelos de confiabilidad’. [1]

Los accidentes en aviación no suelen ser debidos a un solo fallo o persona como responsable, sino que la mayoría de ellos son causa de una sucesión o cadena de eventos no deseados, así como a la influencia de un conjunto de factores externos. Los investigadores como nosotros debemos focalizar nuestros estudios en el análisis de eventos pasados y datos estadísticos para mejorar la seguridad, ya que no podemos predecir cuándo sucederá un accidente.

Nota: Aclarar que en este proyecto se analizan tanto accidentes como incidentes e incidentes graves, pero en la mayoría de casos se ha usado la palabra ‘accidente’ para englobar y hacer referencia a este conjunto de eventos no deseados.

1.1 Boeing 737 - Flota aérea

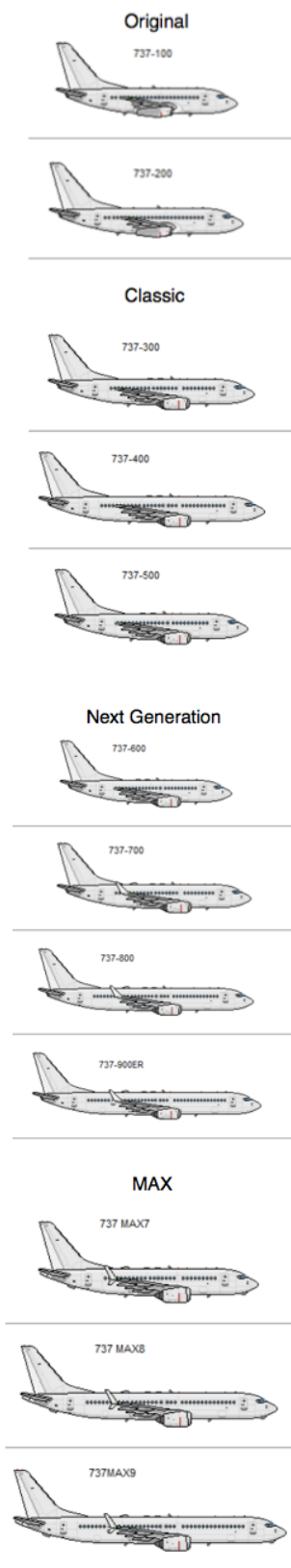


Figura 1. Flota Boeing 737

En 1965, el nombre de la compañía Boeing era sinónimo de aeronaves 'multiengine' (3 o más motores), así que cuando anunció su nuevo modelo comercial 'twinjet' (dos motores) el 737 se ganó el sobrenombre de 'Baby Boeing'. La empresa estableció su primera línea de producción en Seattle, en la planta 'Thompson Site'. En ese mismo lugar el primer Boeing 737 fue presentado al mundo el 17 de enero de 1967. [6]

Desde ese momento el Boeing 737 se convirtió en el avión comercial más exitoso del mundo. La flota consiste en cuatro generaciones de aeronaves: primero la serie 'Boeing 737 Original', seguido de la 'Boeing 737 Classic', y la posterior 'Boeing 737 Next Generation' (737 NG) para terminar con la más novedosa y moderna, la serie 'Boeing 737 MAX' lanzada al mercado en 2017.

Desde 1967 a 1985, un total de 1.831 unidades de la serie 'Original' fueron construidos incluyendo al famoso 'Boeing 737-200' y su versión mejorada, el '-200 Advanced' así como también su hermano pequeño el '-100'. Los tres modelos diseñados para vuelos de corto-medio alcance.

A comienzo de los años 80, el 737 fue actualizado con el motor turbofan CFM56 y componentes digitales. [7] El éxito que tuvo el primer 737-300, permitió que se desarrollaran otras dos versiones: el 737-400, con un fuselaje y capacidad mayores y el 737-500, una versión más pequeña pero con mayor alcance. Entre el año 1984 y el 2000 se produjeron alrededor de 1.990 aeronaves de la serie 'Boeing 737 Classic'.

En el año 1997 la nueva y mejorada serie del 'Boeing 737 NG (Next Generation)' fue introducida al mercado. Presentó avances como: un nuevo diseño del ala, el cual permitió la posibilidad de montar winglets, mayor espacio en una cabina que resultaba mejor equipada, así como motores más eficientes gracias al uso de turbofan de alta tasa de derivación. Los cuatro modelos de la serie: el 737-600, -700, -800 y -900, tienen un mayor alcance y son más veloces con un consumo de combustible más eficiente que sus predecesores.

Después de que Airbus lanzara la flota del A320neo en diciembre de 2010, rompiendo el monopolio que Boeing tenía con American Airlines la cual compró 130 A320neos, Boeing lanzó el programa de construcción del Boeing 737MAX [9] el 30 de agosto de 2011. El 737 MAX es el modelo de avión de un solo pasillo más moderno de la compañía, incluyendo el 737 MAX 7, -MAX 8 y -MAX 9. Están basados en aeronaves anteriores pero con motores más eficientes como el CFM LEAP-1B y mejoras tanto en la aerodinámica como en la estructura, contando con materiales compuestos, los cuales permiten una gran reducción de peso

La flota del 737 [8] se presenta a continuación:

737-100

El 737-100 es la versión de fuselaje corto de la flota del 737. Posee 28,63 m (94 ft) desde la nariz hasta el estabilizador horizontal.

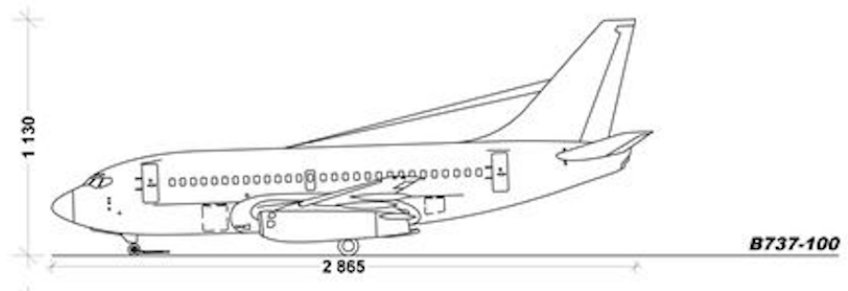


Figura 2. Boeing 737-100

737-200

El 737-200 es la siguiente versión al -100 y cuenta con 30,53 m (100 ft) de largo. Dos secciones fueron añadidas al fuselaje de su predecesor; una de 0,91 m delante del ala y otra de 1,01 m en la parte trasera del ala. Diseñado para vuelos de corto y medio alcance, con una capacidad de 130 pasajeros a distancias de 3.000km.

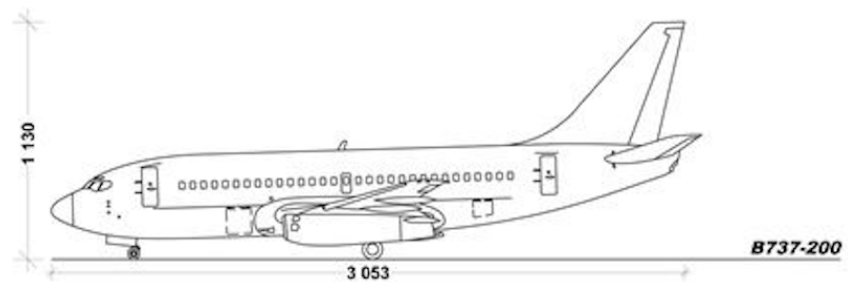


Figura 3. Boeing 737-200

737-300

El 737-300 pertenece a la siguiente serie (Classic) de la flota del 737 y mide 110 ft de largo. Incorpora mejoras en la aerodinámica y en los motores, así como el aumento de la capacidad de carga y alcance. Este modelo tiene capacidad para 149 pasajeros en configuración 'economy'. Fue durante muchos años el avión comercial más común de medio alcance.

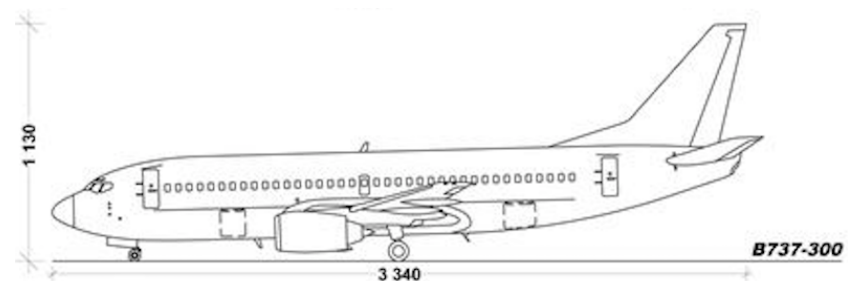


Figura 4. Boeing 737-300

737-400

El 737-400 es 3 metros más largo que el -300. Dos secciones fueron añadidas a su fuselaje, una de 1,8 m en la parte delantera del ala y otra de 1,22 m en la parte trasera. Una versión ligeramente modificada del 737-300 con un fuselaje más largo. Este modelo es capaz de acomodar más pasajeros y es muy común para aerolíneas con vuelos charter.

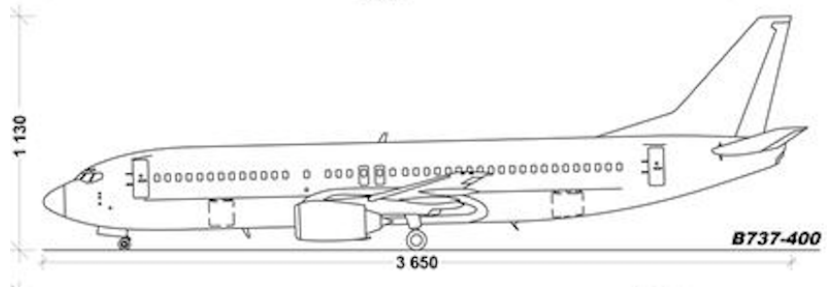


Figura 5. Boeing 737-400

737-500

Este modelo es otra versión del anterior 737-300, aunque con menos capacidad pero mayor alcance de hasta 5500 km. El -500 mide 32 m y tiene una capacidad de 132 pasajeros en configuración 'economy'. Es comúnmente usado por aerolíneas en vuelos de corto alcance sin necesidad de repostar en cada aterrizaje.

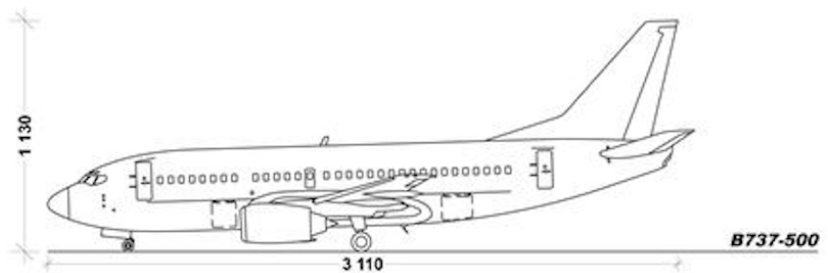


Figura 6. Boeing 737-500

737-600

Es el primer modelo de la serie 'Next Generation'. Este avión tiene el mismo fuselaje que el 737-500 pero un ala y estabilizador diferentes. Estos cambios hacen posible que alcance mayores distancias de vuelo. Mide 33 m y puede transportar a 130 pasajeros en configuración 'economy'.

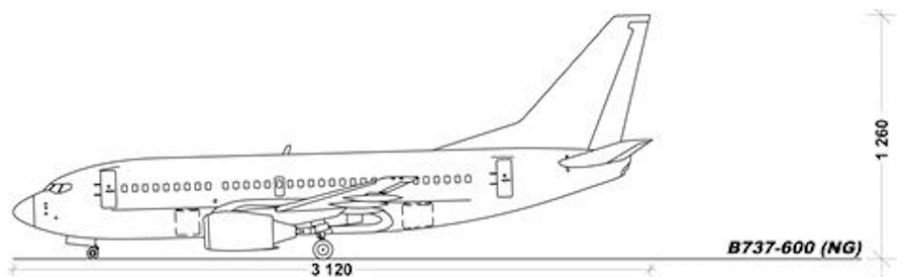


Figura 7. Boeing 737-600

737-700

El 737-700 tiene el mismo fuselaje que el 737-300 pero un ala y estabilizador diferentes. Mide 34 m y puede acomodar a 148 pasajeros en configuración 'economy'. Es un avión muy eficiente y puede alcanzar distancias de 6.000 km, siendo el primer avión comercial de la serie 'Next Generation'.

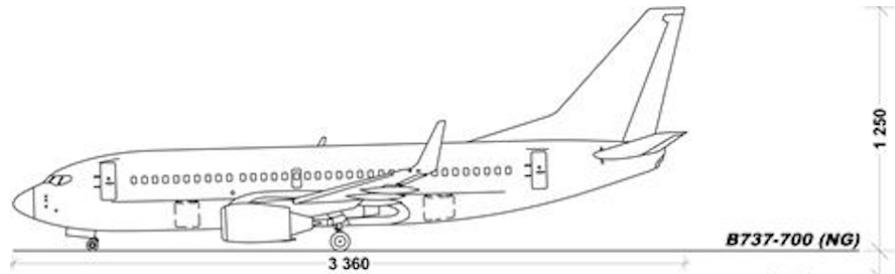


Figura 8. Boeing 737-700

737-800

El 737-800 tiene un fuselaje ligeramente más largo que el del 737-400 y cuenta con un ala y estabilizador diferentes. Este modelo mide 39,8 m y puede transportar a 184 pasajeros en su configuración 'economy'. Se diseñó para acomodar rutas muy concurridas de menos de 5.500 km.

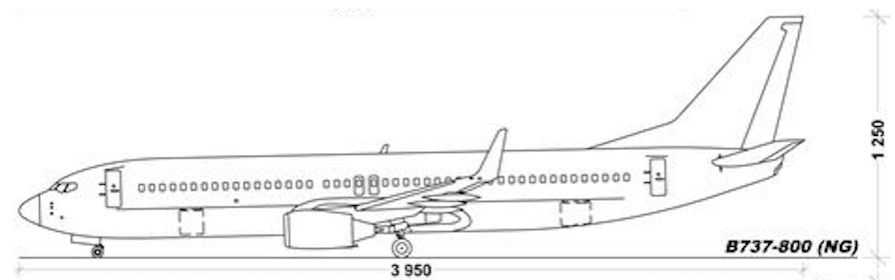


Figura 9. Boeing 737-800

737-900

El 737-900 es un derivado de su predecesor el -800 y mide 2,5 m más. Dos secciones fueron añadidas a su fuselaje, una de 14 m en la parte delantera del ala y otra de 1 m en la parte trasera. Este modelo puede acomodar a 215 pasajeros con un rango de alcance de hasta 5.900 km.

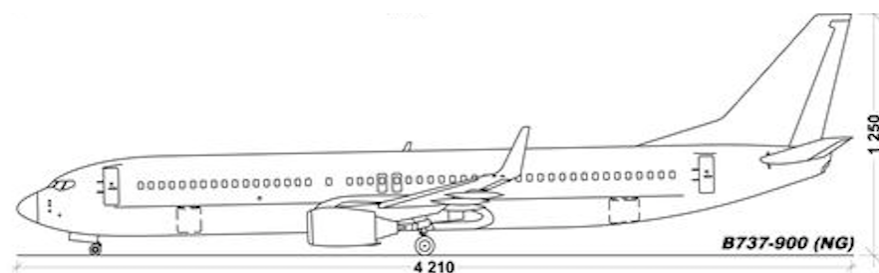


Figura 10. Boeing 737-900

737 MAX 7

Está basado en el 737-700 añadiendo dos filas más. Su diseño incorpora el ala y el tren de aterrizaje del 737-800 y un par de salidas de emergencia en el ala. Cuenta con dos secciones añadidas a su fuselaje, una de 1,6 m en la parte delantera del ala y otra de 0,76 m en la parte trasera. Además incorpora sistemas mejorados con modificaciones en el interior de la cabina para acomodar a 172 pasajeros.



Figura 11. Boeing 737-MAX7

737 MAX 8

Se pretende que este modelo reemplace al 737-800, contando con un fuselaje mayor que el del MAX 7. Su alcance pasará a ser de 6.500 km a 6.690 km después de 2021. Tiene una carga en vacío más ligera y mayor peso máximo al despegue que el Airbus A320neo. Puede acomodar hasta 210 pasajeros. En crucero con un peso de 63.700 kg, consume 2.020 kg de combustible por hora a una velocidad de 0,78 Mach (833 km/h).



Figura 12. Boeing 737-MAX8

737 MAX 9

Este modelo reemplazará al 737-900 con un fuselaje mayor que el del MAX 8. En este caso su alcance pasará a ser de 6.500 km a 6.676 km después de 2021. Lion Air fue el comprador principal con 201 pedidos de la aeronave en febrero de 2012. Cuenta con un tanque auxiliar de combustible, 42 metros de largo y puede acomodar hasta 220 pasajeros.

Boeing 737 MAX-9
Length 138ft 2in, with type II emergency exits aft of wings.
© Gunnar J Boe / www.b737.org.uk



Figura 13. Boeing 737-MAX9

1.2 Teoría del análisis de riesgo

Se define riesgo como la posibilidad de que se produzca un evento desconocido sin saber que va a ocurrir con antelación. Esto significa que el riesgo aparece con frecuencia, de hecho resulta casi imposible encontrar una situación o sistema con riesgo cero. El tiempo es una característica fundamental del riesgo y nos puede ayudar a comprender y estudiar eventos que no son conocidos en la actualidad, pero sí lo serán en el futuro. Lo cual enfatiza la dimensión temporal del riesgo [2].

La OACI define el riesgo como: “La evaluación de las consecuencias de un peligro , expresado en términos de probabilidad y severidad, tomando como referencia la peor condición previsible” [10].

Dentro del análisis de riesgo podemos distinguir dos tipos o categorías: cualitativo y cuantitativo. En este proyecto se lleva a cabo un análisis de riesgo cuantitativo, también conocido como evaluación probabilística de riesgo. A continuación se exponen los tres elementos del riesgo:

- La percepción de que algo pueda pasar.
- La posibilidad de que algo esté sucediendo.
- Las consecuencia en caso de que algo ocurra.

Para poder realizar el análisis de riesgo acorde a estos tres elementos, se evaluará la posibilidad de que ocurra un accidente aéreo basándose en datos recogidos de eventos pasados. Llegados a este punto es muy importante establecer un sistema de estudio, el M-T-E, (Man-Hombre, Technology-Tecnología, Environment-Entorno):



Figura 14. Clasificación MTE

Cuando alguno de estos elementos se presenta en forma de fallo aleatorio, pueden resultar peligros que ocasionan numerosas pérdidas o daños. Este peligro (hazard en inglés) se define como: “la posibilidad de ocasionar pérdidas o daños en una situación que tiene lugar tras un incidente” [11]. Las principales categorías de pérdida y daños son: humana y vida, entorno natural y propiedad tanto pública como privada.

Por otro lado tenemos el concepto de ‘seguridad’, que se define como “el estado en el cual el riesgo de que una persona o sistema sufra un daño se mantiene en un nivel aceptable o por debajo de este gracias a un proceso continuo de identificación de peligros y análisis de riesgo”. Así que está claro que el objetivo de un sistema de gestión de seguridad es conseguir el máximo nivel de seguridad para reducir las pérdidas y daños.

2. DEFINICIONES

2.1 Accidente

Los sucesos que se consideran para efectos de este trabajo son accidentes, pero ¿qué es un accidente aéreo? De acuerdo con el Anexo 13 de la Organización de Aviación Civil Internacional OACI, [12] un accidente aéreo se define como: “Todo suceso relacionado con la utilización de una aeronave, que en el caso de una aeronave tripulada ocurre entre el momento en que una persona entra a bordo de la aeronave, con la intención de realizar un vuelo, y el momento en que todas las personas han desembarcado; o en el caso de una aeronave no tripulada, que ocurre entre el momento en que la aeronave está lista para desplazarse, con el propósito de realizar un vuelo, y el momento en que se detiene, al finalizar el vuelo, y se apaga su sistema de propulsión principal, durante el cual:

- I. Cualquier persona sufre lesiones mortales o graves a consecuencia de:
 - a. hallarse en la aeronave, o
 - b. por contacto directo con cualquier parte de la aeronave, incluso las partes que se hayan desprendido de la aeronave, o
 - c. por exposición directa al chorro de un reactor.

Nota: Excepto cuando las lesiones obedezcan a causas naturales, se las haya causado una persona a sí misma o hayan sido causadas por otras personas o se trate de lesiones sufridas por pasajeros clandestinos, escondidos fuera de las áreas destinadas normalmente a los pasajeros y la tripulación.

- II. La aeronave sufre daños o roturas estructurales que:
 - a. Afectan adversamente su resistencia estructural, su performance o sus características de vuelo; y
 - b. Normalmente exigen una reparación importante o el recambio del componente afectado.

Nota: Excepto por fallo o daños del motor, cuando el daño se limita a un solo motor (incluido su capó o sus accesorios); hélices, extremos de ala, antenas, sondas, álabes, neumáticos, frenos, ruedas, carenas, paneles, puertas de tren de aterrizaje, parabrisas, revestimiento de la aeronave (como pequeñas abolladuras o perforaciones), o por daños menores a palas del rotor principal, palas del rotor compensador, tren de aterrizaje y a los que resulten de granizo o choques con aves.

- III. La aeronave desaparece o es totalmente inaccesible.

Vale la pena mencionar que en el mismo Anexo 13 se estipulan las acciones a seguir en caso de accidente y las funciones del Grupo de Investigación de Accidentes:

- Efectuar la investigación de los accidentes e incidentes de aviación civil producidos en el país y participar en los ocurridos a aeronaves nacionales fuera del país.
- Establecer las causas de los accidentes e incidentes y producir los dictámenes necesarios.
- Desarrollar las normas y procedimientos aplicables a la investigación de accidentes de aviación.
- Proporcionar asistencia de Secretaría permanente de la Junta o Comisión Investigadora de Accidentes de Aviación.
- Aplicar las medidas correctivas y demás acciones para prevenir la repetición y ocurrencia de accidentes de aviación.
- Conocer todo lo relativo a notificaciones y manejo de correspondencia con la OACI referente a lo relacionado con accidentes de aviación.
- Promover la difusión de normas, informes y demás documentación sobre accidentes de aviación.
- Inspeccionar los aeropuertos y hacer las notificaciones a las dependencias que apliquen con el fin de tomar las medidas correctivas.
- Coordinar con la Secretaría de Sistemas Operacionales las inspecciones a los aeropuertos.
- Velar por la capacitación y actualización de los investigadores de campo en las diferentes regionales.”

Anexo 13 de la OACI

2.2 Fase de vuelo

El anexo de este trabajo presenta una clasificación de los accidentes aéreos de Boeing 737 basada en la fase de vuelo en la cual ocurrió cada accidente entre los años 1992 y 2017. Por tanto es necesario exponer las diferentes fases de vuelo y sus definiciones basadas en informes de la OACI [13] y el equipo de taxonomía común.

Al equipo de Taxonomía Común CAST/OACI (CICTT) se le encargó elaborar taxonomías y definiciones comunes para los sistemas de informes de accidentes e incidentes de aviación. Las taxonomías y definiciones comunes están dirigidas a mejorar la capacidad de la comunidad aeronáutica para enfocarse en temas comunes de seguridad [25].

Las definiciones de Fase de Vuelo que se presentan a continuación se componen de fases operacionales amplias, más “Ninguno” y “Desaparecido”. Para propósitos de este trabajo, fase de vuelo se refiere a un período dentro de un vuelo. El vuelo comienza cuando cualquier persona aborda una aeronave con la intención de volar y continúa hasta el momento en que todas dichas personas han desembarcado. [OACI Anexo 13].



Figura 15. Fases de vuelo

A) Parada - Standing (STD)

Antes del empuje o rodaje, o después del arribo, en la puerta, la rampa o el área de estacionamiento, mientras la aeronave está estacionada. Esta fase de vuelo incluye las siguientes sub-fases:

- Motor(es) no Funcionando
- Arranque de motor(es))
- Motor(es) Funcionando
- Apagado de motor(es)

Notas de uso: Se considera apagado del motor desde el comienzo de la secuencia de apagamiento hasta que el motor cesa de girar.

B) Empuje en retroceso/Remolque - Pushback/Towing (PBT)

La aeronave está en movimiento en las áreas de puerta de salida, rampa, o estacionamiento, ayudada por un vehículo de remolque [remolcador]. Esta fase de vuelo incluye las siguientes sub-fases:

- Motor(es) no Funcionando, con ayuda
- Arranque de Motor(es), con ayuda
- Motor(es) Funcionando, con ayuda
- Apagado de Motor(es), con ayuda

Notas de uso: El movimiento sin ayuda en el área de la puerta o la rampa se incluye en la fase de RODAJE. Se considera apagamiento del motor desde el comienzo de la secuencia de apagamiento hasta que el motor cesa de girar.

C) Rodaje - Taxi (TXI)

La aeronave se mueve sobre la superficie del aeródromo con fuerza propia antes de despegar o luego de aterrizar. Esta fase de vuelo incluye las siguientes sub-fases:

- Rodaje hacia la Pista: Empieza cuando la aeronave comienza a moverse con su propia potencia alejándose de la puerta, rampa, plataforma, o área de estacionamiento y termina al llegar a la pista de aterrizaje.
- Rodaje a la Posición de Despegue: Desde que entra a la pista hasta que llega a la posición de despegue.
- Rodaje desde la Pista: Empieza al salir de la pista de aterrizaje y termina al llegar a la puerta, rampa, plataforma, o área de estacionamiento, cuando la aeronave deja de moverse por su propia potencia.

Notas de uso: En este documento, el término pista o área de aterrizaje es utilizado en su sentido más amplio e incluye pistas de aterrizaje, pistas sin pavimentar, vías fluviales, áreas de aterrizaje sin afirmar, y plataformas de aterrizaje, (que pueden incluir plataformas en alta mar, techos de edificios, caminos, barcos, y campos), u otras áreas designadas para aterrizar. Rodaje incluye rodaje aéreo para aeronaves de alas rotatorias.

D) Despegue - Takeoff (TOF)

Desde la aplicación de potencia de despegue, durante la rotación y hasta una altitud de 35 pies por encima de la elevación de la pista. Esta fase de vuelo incluye las siguientes sub-fases:

- Despegue. Desde la aplicación de potencia de despegue, durante la rotación y hasta una altitud de 35 pies por encima de la elevación de la pista o hasta selección de tren plegado, lo que ocurra primero.

- Despegue Rechazado. Durante el despegue, desde el punto donde la decisión de abortar ha sido tomada hasta que la aeronave comienza a rodar fuera de la pista.

Nota de uso: Un aterrizaje forzoso durante la operación de una aeronave de alas giratorias es considerado un despegue rechazado.

E) Ascenso Inicial - Initial Climb (ICL)

Desde el final de la sub-fase de Despegue hasta la primera reducción de potencia prescrita, o hasta alcanzar los 1.000 pies por encima de la elevación de la pista o del circuito VFR, lo que ocurra primero.

F) En Ruta - En Route (ENR)

Reglas de Vuelo por Instrumentos (IFR): Desde que se termina el Ascenso Inicial pasando por la altitud de crucero hasta la conclusión del descenso controlado a la Posición Inicial de la Aproximación (IAF). Reglas de Vuelo Visual (VFR): Desde la conclusión del Ascenso Inicial, pasando por crucero y descenso controlado a la altitud del circuito VFR o a 1000 pies por encima de la elevación de la pista, lo que suceda primero. Esta fase de vuelo incluye las siguientes sub-fases:

- Ascenso a Crucero: IFR: Desde la conclusión del Ascenso Inicial hasta llegar a la altitud inicial de crucero asignada. VFR: Desde la conclusión del Ascenso Inicial a la altitud crucero inicial.
- Crucero: Cualquier segmento de vuelo horizontal después de alcanzar la altitud crucero inicial hasta comenzar el descenso al punto de destino.
- Cambio del Nivel de Crucero: Cualquier ascenso o descenso durante el crucero después del ascenso inicial a crucero, pero antes del descenso al punto de destino.
- Descenso: IFR: Descenso desde crucero hasta la Posición Inicial de la Aproximación (IAF) o de entrada al circuito VFR. VFR: Descenso desde crucero hasta entrar al circuito VFR o 1000 pies por encima de la elevación de la pista, lo que suceda primero.
- Espera: Ejecución de una maniobra predeterminada (usualmente un circuito de pista de carrera oval) que mantiene a la aeronave dentro de un espacio aéreo específico mientras espera autorización adicional. El descenso durante la espera está incluido en esta sub-fase.

G) Maniobras - Maneuvering (MNV)

Operaciones a baja altitud/vuelo acrobático. Esta fase de vuelo incluye las siguientes sub-fases:

- Acrobacia Aérea: Cualquier maniobra intencional que exceda los 30 grados de ángulo de inclinación longitudinal, los 60 grados de inclinación lateral, o ambos, o la aceleración anormal (generalmente asociada con exhibiciones aéreas, vuelos militares, o con vuelos de entrenamiento afines).
- Vuelo a baja altitud: El vuelo intencional a baja altitud no relacionado con un aterrizaje o despegue, usualmente en preparación para o durante tareas de observación, demostración, trabajos de fotografía, aplicación aérea, adiestramiento, excursiones, demostración ostentosa, u otra actividad similar. Para aeronaves de alas giratorias, esto también incluye vuelo estacionario (no asociado con aterrizaje o despegue) y maniobrar cargas externas.

H) Aproximación - Approach (APR)

Reglas de Vuelo por Instrumentos (IFR): Del punto de Posición Inicial de la Aproximación (IAF), hasta el comienzo del enderezamiento para aterrizar. Reglas de Vuelo Visual (VFR): Del punto de entrada al circuito VFR, o 1.000 pies por encima de la elevación de la pista hasta el comienzo del enderezamiento para aterrizar. Esta fase de vuelo incluye las siguientes sub fases:

- Aproximación Inicial (IFR): De la IAF a la Posición Final de la Aproximación (FAF).
- Aproximación Final (IFR): Desde la FAF hasta el comienzo del enderezamiento para aterrizar.
- Patrón de Circuito – Viento de Cola (VFR): La trayectoria de vuelo (normalmente 1.000 pies sobre la pista) que comienza en ángulo recto con el extremo de salida de la pista y corre paralela a la pista en dirección opuesta al aterrizaje, y termina al iniciar la vuelta hacia el tramo base.
- Patrón de Circuito – Base (VFR): Del comienzo de la vuelta al terminar el tramo de viento de cola hasta el comienzo de la vuelta final.
- Patrón de Circuito - Final (VFR): Desde el comienzo de la vuelta para interceptar el eje extendido de la pista, normalmente al final del tramo base, hasta el comienzo del enderezamiento para aterrizar. Incluye aproximaciones directas VFR.
- Patrón de Circuito – Viento cruzado (VFR): Una trayectoria de vuelo del patrón de tráfico VFR, que es perpendicular a la pista de aterrizaje, cruza el extremo de salida de la pista y se conecta con el tramo de viento de cola.

- Aproximación Frustrada/Abortar aterrizaje: Desde la primera aplicación de potencia luego que la tripulación decide ejecutar una aproximación frustrada o abortar el aterrizaje, hasta que la aeronave vuelve a entrar en la secuencia de un patrón VFR (abortar aterrizaje) o hasta que la aeronave alcance la IAF para otra aproximación (IFR).

Nota de uso: Un procedimiento de espera realizado en la IAF se incluye en la fase EN RUTA.

I) Aterrizaje - Landing (LDG)

Desde comienzo del enderezamiento para aterrizar hasta que la aeronave sale de la pista de aterrizaje o se detiene en la pista; o cuando se aplica potencia para despegar en el caso de aterrizajes “touch and go” (toca y despegar). Esta fase de vuelo incluye las siguientes sub-fases:

- Enderezamiento para aterrizar: Transición de la posición nariz-baja a nariz-alta inmediatamente antes de aterrizar, hasta el momento de tocar el suelo.
- Recorrido de Aterrizaje: Después del momento de tocar el suelo hasta que la aeronave salga de la pista de aterrizaje, o se detenga, lo que ocurra primero.

Nota de uso: Para aeronaves de alas giratorias, incluye tanto aterrizajes verticales como horizontales.

J) Descenso de emergencia - Emergency Descent (EMD)

Un descenso controlado durante cualquier fase en el aire en respuesta a una situación percibida de emergencia.

K) Descenso fuera de control - Uncontrolled Descent (UND)

Un descenso durante cualquier fase en el aire en la cual la aeronave no mantiene el vuelo controlado.

L) Post-Impacto - Post-impact (PIM)

Cualquier porción del vuelo que ocurre luego del impacto con una persona, objeto, obstáculo o terreno.

Nota de uso: Aunque no se trata de una Fase de Vuelo en sí, esta fase ha sido agregada para permitir una secuencia exacta de reconstrucción del evento en el caso de sucesos. Por ejemplo, incendiarse después del impacto.

M) Desconocida - Unknown (UNK)

Fase de vuelo no aparente en la información disponible.

2.3 Daño a la aeronave

Debido a las diferencias que existen entre las consecuencias de un accidente es necesario establecer categorías para clasificarlos.

Dependiendo de la magnitud del daño y según la OACI [14], el daño causado a la aeronave se divide en cuatro categorías: “Total o destruida” - “Written off” (damaged beyond repair), “Sustancial” - “Substantial”, “Leve” - “Minor”, “Ninguno” y “Desaparecido” - “None” and “Missing”.

“Total o destruida” - “Written off” (damaged beyond repair)

El daño sufrido por el avión hace imposible su reparación o retorno a condiciones óptimas.

Nota: Es diferente a la definición de “hull loss” que hace referencia a cuando el avión sufre un daño que va más allá de una reparación económica, es decir, no es el resultado de una evaluación técnica sino de consideraciones económicas.

“Sustancial” - “Substantial”

La aeronave sufre un daño o fallo estructural el cual:

- afecta severamente a la estructura, operaciones o characteristics de vuelo de nuestro avión y
- por lo general requiere de una reparación de gran escala, así como el remplazo de sus componentes; excepto en el caso de los motores o accesorios, antenas, frenos y hélices.

“Leve” - “Minor”

El avión puede retornar a sus condiciones óptimas de operación con reparaciones simples, sin necesidad de una inspección exhaustiva.

“Ninguno” y “Desaparecido” - “None” and “Missing”

La aeronave no presenta daños tras el accidente o no se conoce el daño debido a su desaparición.

2.4 Tipo de vuelo

Otra categoría de estudio es el tipo de vuelo que efectuó nuestra aeronave. Es un campo muy amplio pero nos vamos a centrar solo en las categorías que caracterizan a la flota del Boeing 737. De este modo, se presentan las siguientes:

Vuelo nacional programado - Domestic Scheduled Passenger: En estos vuelos el país de origen y de llegada es el mismo; básicamente consiste en el transporte de pasajeros por motivos como negocios, vacaciones o viajes de corto plazo. Operan regularmente y están programados con gran antelación.

Vuelo nacional no programado - Domestic Non-Scheduled Passenger: En este caso el origen y la llegada también ocurren en el mismo país pero el vuelo no está programado con cierta antelación.

Vuelo internacional programado - International Scheduled Passenger: Misma definición que en que los vuelos nacionales programados pero con la diferencia de que operan en diferente país de origen y llegada.

Vuelo internacional no programado - International Non-Scheduled Passenger: Como podemos deducir, el vuelo opera en diferentes países y no está programado con antelación.

Carga - cargo: Estos vuelos transportan únicamente carga, es decir mercancías, equipaje sin acompañante y correo.

Militar - Military: Aeronaves en uso para operaciones de las fuerzas armadas.

Entrenamiento - Training: Vuelos que tienen como propósito el entrenamiento de vuelo.

Desconocido - Unknown: Esta designación se usará cuando el propósito del vuelo no se conozca.

Ferry/Posicionamiento - Ferry/Positioning: Vuelos que tienen como fin el posicionamiento de la aeronave en otra base o lugar para poder prestar su servicio, o también para que se les realice cualquier inspección o mantenimiento.

2.5 Clasificación M-T-E

Una de las tareas más complicadas de este proyecto es clasificar los 145 accidentes encontrados en los últimos 20 años dependiendo de su causa principal. Para poder lograrlo se requirió de un método estándar en el cual las causas de los accidentes se agrupan en diferentes categorías:

Se aceptan diferentes tipos de clasificación:

- El Sistema de Clasificación de IATA (13 categorías).
- GSIE Harmonized Accident Categories (8 categorías).
- Las categorías del equipo de taxonomía común CAST/ICAO (7 categorías, 38 subcategorías)

En aviación resulta muy complicado determinar la causa principal de cada accidente debido a que suele ser la consecuencia de una cadena de sucesos. De hecho, es todavía más complicado dado que en la descripción de cada uno muchas veces no especifica la causa principal y en otras no se cuenta con información.

Para intentar solucionar este problema, se utilizó un sistema de clasificación basado en M-T-E (Man-Hombre, Technology-Tecnología, Environment-Entorno), [15] que está formado por cuatro categorías: "Error Humano - Human Error", "Causa externa - External cause", "Fallo técnico - Technical failure" y "Desconocido - Unknown". De esta manera se obtiene un análisis mucho más lógico y simple.

Error Humano - Human Error

Son los casos en los que la acción o inacción de la tripulación, pilotos o controladores aéreos es considerada la causa principal del accidente.

Esta categoría incluye:

- Accidentes en los que el único error mencionado es del piloto o del controlador aéreo.
- Error en el repostaje de combustible y/o inspección/preparación pre-vuelo que ocasionan un fallo.
- Elección errónea de las normas en vuelo visual o con respecto a las condiciones meteorológicas.
- Enfermedad del piloto desarrollada o empeorada durante el vuelo.

Causa Externa - External Cause

En esta ocasión la causa principal del accidente no depende de los pilotos, operaciones de la aeronave o controladores sino de agentes externos.

Esta categoría incluye:

- Accidentes en los que el mal tiempo es la única causa mencionada.
- Accidentes en los que algún fenómeno meteorológico es la causa principal.
- Ataques externos, e.g. aves.
- Presencia de objetos como vehículos o animales en tierra que ocasionan una acción evasiva.
- Acciones llevadas a cabo para evadir la ley o al personal durante una operación ilegal o no autorizada.
- Fallos técnicos o mecánicos ocasionados por fenómenos meteorológicos.
- Incendios externos mientras el avión esta aparcado.

Fallo técnico - Technical Failure

Casos en los que el fallo o mal funcionamiento de al menos un componente o sistema de la aeronave (e.g. tren de aterrizaje, motores, flaps, circuito eléctrico...) es considerado la causa principal de nuestro accidente.

Esta categoría incluye:

- Accidentes en los que un fallo técnico es la única causa mencionada.
- Fallos técnicos ocasionados como resultado de un mal proceso de mantenimiento.
- Casos en los que un fallo técnico deriva en otro evento no deseado (e.g. error humano al seguir el procedimiento de emergencia en el caso de que el tren de aterrizaje no quede bloqueado).

Desconocido - Unknown cause

Casos en los que no se aparece una causa para el accidente o no existe evidencia suficiente para determinar el motivo específico.

3. ANÁLISIS DE DATOS - BOEING 737

El análisis de confiabilidad y riesgo sobre el Boeing 737 llevado a cabo en este proyecto está basado en todos los accidentes encontrados durante los últimos 25 años en la base de datos 'Aviation Safety Network Database' [16], cuyo propósito es proporcionar a todas las personas con cierto interés en la aviación, información actualizada, completa y fiable sobre los accidentes y cuestiones de seguridad.

Algunos de los casos han requerido ampliar la información obtenida en la base de datos anterior (e.g. fecha del primer vuelo), por lo tanto se ha recurrido a otras fuentes como Planespotters [17] y b737.or.uk [18].

Únicamente se han omitido un par de casos en los que la causa era el secuestro, ya que la información encontrada era muy ambigua e insuficiente.

La tabla de datos elaborada manualmente en Excel con toda la información detallada se puede consultar en el Anexo 1. Los 145 accidentes hallados entre 1992 a 2017 (ambos inclusive) se han analizado según los siguientes criterios: 'tipo de aeronave', 'fase de vuelo', 'tipo de vuelo' y 'causa'.

La siguiente información ha sido seleccionada de las diferentes bases de datos y expuesta en el Excel aunque no en todos los casos se ha encontrado cada uno de los siguientes datos:

Nota: La mayoría de información ha sido obtenida en inglés con lo cual la tabla en Excel y gráficos se ha desarrollado en este idioma.

- Fecha del accidente - Date of the Accident
- Tipo de aeronave - Series
- Primer vuelo - First flight
- Días de vida operativa - Operating life days
- Fallecidos totales - Total fatalities
- Ocupantes totales - Total occupants
- Daño a la aeronave - Airplane damage
- Localización - Location
- Fase de vuelo - Phase of flight
- Tipo de vuelo - Nature of flight
- Horas de vuelo total - Total airframe hours
- Ciclos - Cycles

- Causa - Cause
- Horas/Día - Hours/Day
- Ciclos/Día - Cycles/Day
- Horas/Ciclo - Hours/Cycle
- Categoría de pérdida - Category of loss

3.1 Accidentes por 'tipo de aeronave'

Luego de realizar una clasificación de los accidentes por el tipo de aeronave (serie del Boeing 737) involucrada se obtuvieron los diagramas que a continuación se presentan dependiendo del modelo de Boeing 737:

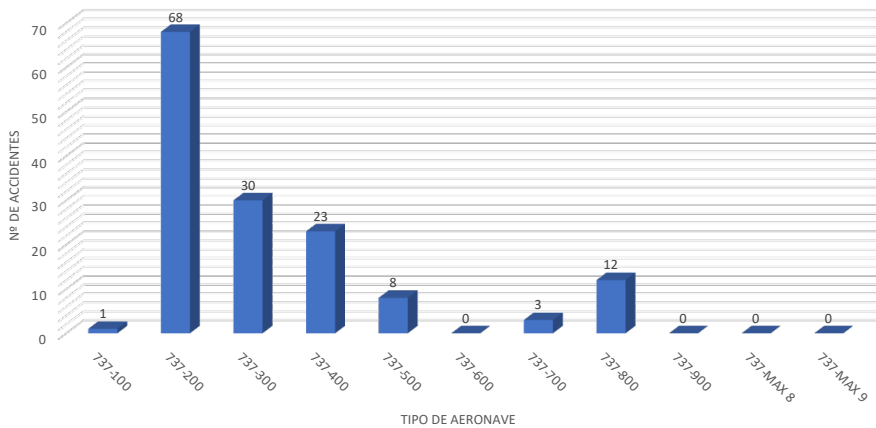


Figura 16. N° de accidentes por 'tipo de aeronave'

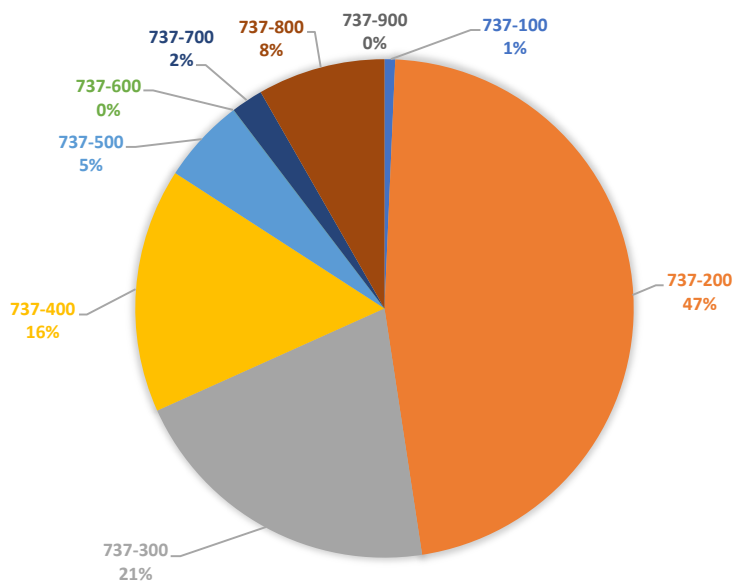


Figura 17. Porcentaje de accidentes por 'tipo de aeronave'

Modelo	-100	-200	-300	-400	-500	-600	-700	-800	-900	-MAX
Entregas	30	1095	1113	486	389	69	1128	4913	505	109
Accidentes	1	68	30	23	8	0	3	12	0	0
%Accidentes /Entregas	3,3 %	6,2 %	2,7 %	4,7 %	2,1 %	0 %	0,2 %	0,2 %	0 %	0 %

Tabla 1. Número de entregas y accidentes Boeing 737 por modelo

En la tabla 1 se exponen todas las entregas del Boeing 737 en sus diferentes modelos desde su lanzamiento al mercado. Ha sido extraída de la página oficial de Boeing [26] contando con un total de 9837 entregas y con 6.075 aeronaves operativas en los 25 años del estudio realizado en esta trabajo.

Sobre el número de accidentes por ‘tipo de aeronave’ podemos destacar y observar en las figuras 16 y 17 y la tabla 1 como el modelo más accidentado es el 737-200 con un 47% de los casos, con un 6,2% de aeronaves accidentadas del total de entregas, seguido del 737-300 con un 21%. El posible motivo es el gran número de aeronaves manufacturadas (1.095 y 1.113 respectivamente) y la antigüedad de estas. Aunque el modelo 737-400 cuenta con un alto porcentaje de accidentes con respecto a las entregas, 4,7%, siendo junto al 737-200 los más accidentados con respecto a las entregas. Por otro lado el modelo 737-800 tiene un ligero repunte en cuanto al número de accidentes pero es debido a la gran producción de este modelo (4.913 aeronaves). Las series más modernas (900 y MAX) no muestran ningún accidente en las bases de datos consultadas a fecha 31/12/2017.

3.2 Accidentes por ‘fase de vuelo’

Teniendo en cuenta las definiciones de las diferentes fases de vuelo dadas en la sección 2.2, los siguientes gráficos muestran el número de accidentes y porcentaje por cada fase:

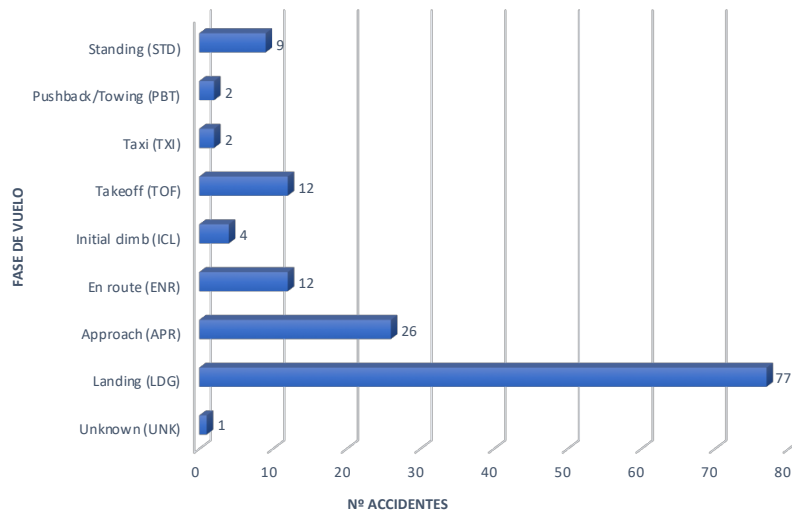


Figura 18. Nº de accidentes por ‘fase de vuelo’

Con el fin de presentar la información extraída de la tabla Excel de una manera más gráfica se ha creado un diagrama de porcentajes en el que se observa que más de la mitad de accidentes tuvieron lugar en la fase de aterrizaje - landing (LDG):

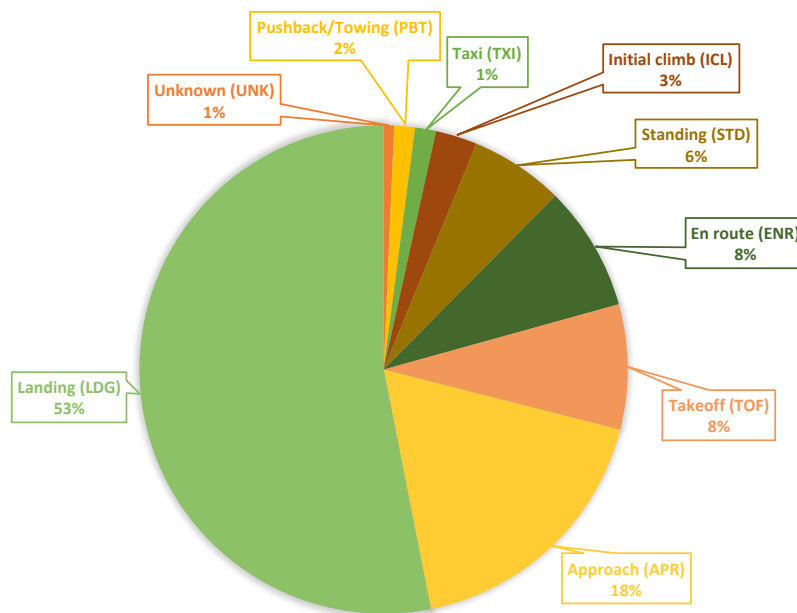


Figura 19. Porcentaje de accidentes por 'fase de vuelo'

Como se puede apreciar en la figura 19 la gran mayoría de accidentes ocurren en las últimas fases del vuelo, es decir, "Aproximación - Approach" y "Aterrizaje - Landing" con un total del 71% de los accidentes (53% y 18% respectivamente). La posible causa de estos casos sea que en estas fases el factor humano tanto del piloto como de los controladores aéreos juegan un papel crucial, además de las inclemencias meteorológicas. Las fases de vuelo con menos accidentes son "Empuje en retroceso/Remolque - Pushback/Towing" y "Rodaje - Taxi", es decir cuando el avión está en tierra.

3.3 Accidentes por 'tipo de vuelo'

En esta sub-categoría podemos observar los accidentes clasificados según su 'misión':

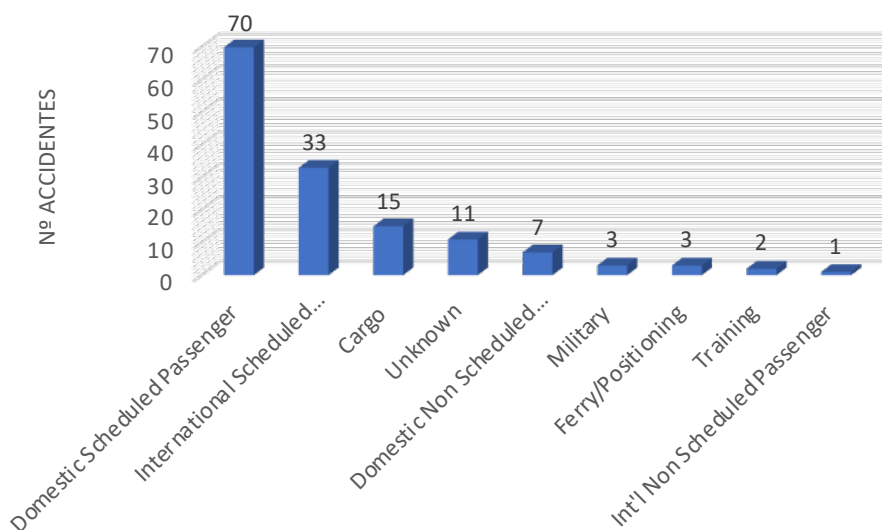


Figura 20. Nº de accidentes por 'tipo de vuelo'

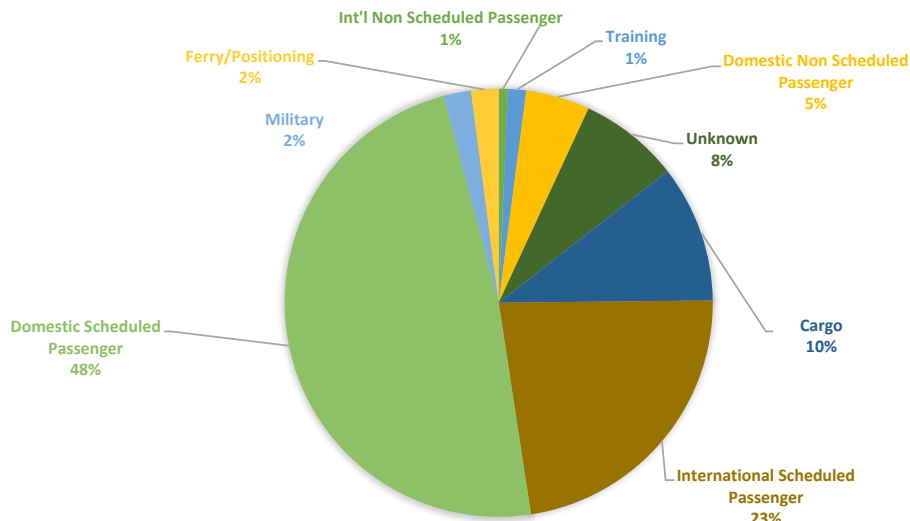


Figura 21. Porcentaje de accidentes por 'tipo de vuelo'

En este caso tenemos casi 3/4 de los accidentes en la categoría de 'vuelos programados' y casi la mitad del total son "vuelos nacionales programados - domestic scheduled passenger". Esto se debe a que el Boeing 737 es un avión que usan mayormente compañías aéreas con 'vuelos programados' con antelación y con muy pocos 'charter'. Dentro de la categoría de vuelos programados, resulta significativo que el número de accidentes en vuelos domésticos sea más del doble que el de internacionales, algo que denota como ya has expuesto con anterioridad la función principal del avión, vuelos en rutas de pequeño y medio alcance donde no hay que olvidar que Boeing es la compañía que reina en EEUU (país muy grande en extensión). Como podemos observar en el Anexo 1, la mayoría de ellos ocurrieron en EEUU y países del continente asiático sobre todo Indonesia y Tailandia, donde cuentan con menores recursos tanto en infraestructuras como en formación.

3.4 Accidentes por 'causa'

En las figuras 22 y 23 todos los accidentes hallados se clasifican en las cuatro categorías de 'causa' expuestas en la sección 2.5:

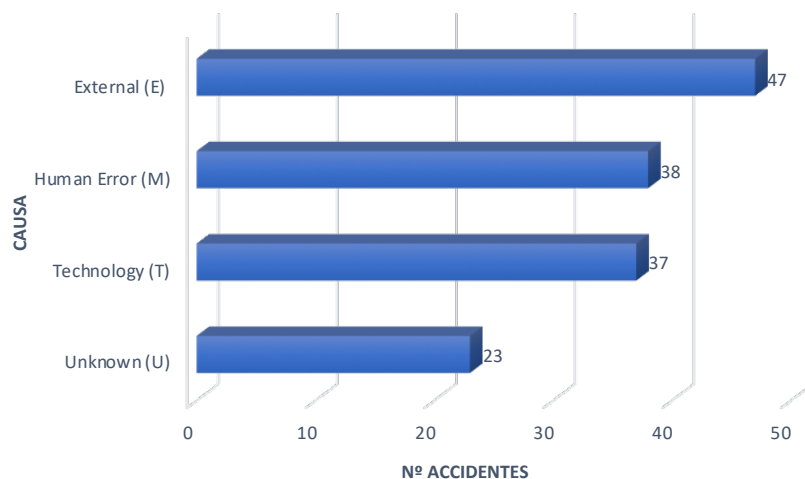


Figura 22. Nº de accidentes por 'causa'

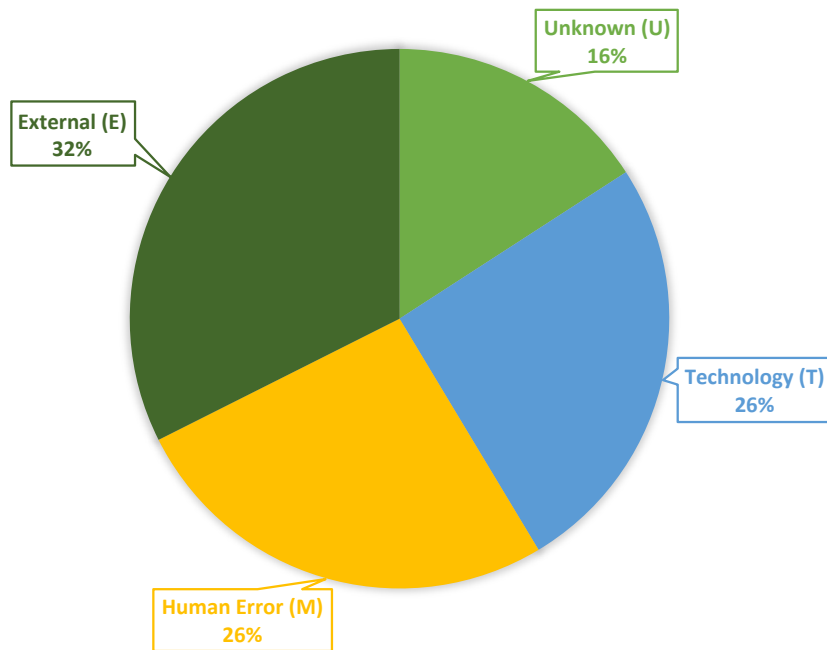


Figura 23. Porcentaje de accidentes por causa

Observando las figuras 22 y 23 podemos establecer que la principal causa de accidentes es la “Externa - External causa” con un 32% de los casos. “Fallo técnico - Technical failure” y “Error humano - Human Error” tienen valores muy similares que están por debajo de la causa principal. Se puede apreciar como los accidentes se distribuyen de una manera más o menos homogénea en las diferentes categorías. Cabe destacar que un 16% de los casos son “Desconocidos - unknown” dado que al elaborar nuestra base de datos no se ha podido concretar una causa por no contar con los datos necesarios. Este problema será solventado en apartados siguientes.

4. ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD Y RIESGO

En este apartado se va a trazar un análisis de confiabilidad y riesgo de acuerdo al contenido de la base de datos presente en el Anexo I de este documento en la que se notifican todos los accidentes sufridos por las distintas variantes del modelo 737 de Boeing durante el período que abarca desde el 1 de enero de 1992 y el 31 de diciembre de 2017.

4.1 Probabilidad de accidente

Gracias a la información proporcionada por ‘Boeing Company’ [19] en su web mostrada en la figura 24 y la base de datos ASN [15] de los accidentes del Boeing 737, ha sido posible extrapolar los diferentes parámetros necesarios para los cálculos que se exponen a continuación:

737 longer major visit intervals provide:

- > Lower maintenance cost
- > Less airplane down time

	737 Classic	Next-Generation 737
Minor (A-Check Equivalent)	250 FH / 31 Days	➔ 720 FH / 120 Days
Major (C-Check Equivalent)	4,000 FH / 16 Months	➔ 12,000 FH / 6,600 FC 36 months*
Heavy Check	24,000 FH / 9 Years	9 & 12 Years

- FC = Flight Cycles
- FH = Flight Hours
- Intervals reflect equivalent checks for New Next-Generation 737 at average world utilization of 3,000 FH/year and 8 FH/day.
- Classics have increased to the same Heavy Check intervals as Next-Generation 737.
- Industry steering committee recommends check intervals to the FAA for approval. * Some C-Check maintenance are scheduled for 6,000 FH / 24 months.

Figura 24. Informe oficial de Boeing

La siguiente tabla ha sido creada con la información citada en la figura 24 con el fin de obtener los ciclos y horas de vuelo por avión y por día para los casos en los que no contamos con esa información. A partir del informe oficial de Boeing sobre horas de vuelo obtenemos las horas que se realizan de media en un día y los ciclos al día. Junto con los datos que tenemos el Excel obtenemos la media de total para poder realizar los cálculos de los siguientes apartados.

	Años	Meses	Días	Horas	H/Día		
CLASSIC	-	-	31	250	8,0645		
	-	16	496	4000	8,0645		
	9	108	3348	24000	7,1685		
MEDIA					7,7658		
						Ciclos	Ciclos/Día
						6600	5,914
NEXT GENERATION	-	-	120	720	6		
	-	36	1116	12000	10,753		
	9	108	3348	24000	7,1685		
	12	144	4464	24000	5,3763		
MEDIA (CONTANDO 9 AÑOS HEAVY CHECK)					7,3763		
MEDIA (CONTANDO 12 AÑOS HEAVY CHECK)					7,9737		
MEDIA DE BOEING					8		
MEDIA DE NUESTRA BASE DE DATOS (60/145):					6,77		5,21

Tabla 2. Cálculo de horas de vuelo y ciclos del avión

Los datos oficiales que proporciona Boeing nos dan dos posibles respuestas: por un lado la media de uso de cada aeronave que es 8 h/día [19], y por otro, el cálculo realizado: 7,766 - 7,974 h/día y 5,91 Ciclos/día. Como podemos observar la media de nuestra base de datos para los Ciclos/día diverge con respecto a la oficial (5,914 frente a 5,21) y esto se debe a la poca información que se obtuvo al hacer la base de datos, ya que solo contábamos con información en 60 de 145 casos estudiados. Consultando con diferentes expertos y el tutor del proyecto, se ha optado por tomar el dato oficial para realizar los cálculos. Del mismo modo contaremos con el dato oficial de Boeing para el número de aeronaves en servicio, o más concretamente el número de aeronaves en uso durante el periodo de análisis, igual a 6.075. Para los cálculos realizados se usaron los datos oficiales de Boeing (8 y 5,914) para los casos en los que no aparecía las h/día y los Ciclos/día respectivamente. Obteniendo así un total de: **7,63 horas por día y 5,91 ciclos por día.**

El número total de vuelos se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Vuelos totales} = \text{Aeronaves operativas} \times \text{Días de estudio} \times \text{Media Ciclos/Día}$$

$$\text{Vuelos totales} = 6075 \text{ aeronaves} \times 9125 \text{ días} \times 5.91 \text{ Ciclos/Día} = 3,27 \times 10^8$$

De este modo procedemos al cálculo de probabilidades:

La probabilidad de que ocurra un accidente por vuelo es:

$$P(\text{Accidente}) = \frac{\text{Accidentes totales}}{\text{Vuelos totales}}$$

En nuestro caso un total de 145 accidentes:

$$P(\text{Accidente}) = \frac{145}{327617156,3} = 4,4258976 \times 10^{-7} \text{ [1/Vuelo]}$$

$$P(\text{Accidente}) = 4,4258976 \times 10^{-7} \text{ [1/Vuelo]}$$

Para determinar el número de horas por vuelo, lo más sencillo es dividir las medias obtenidas anteriormente en el Excel contando con los datos de nuestra base y los oficiales de Boeing para los restantes, y obtendremos el número de horas por ciclo:

Nº de horas por Vuelo/Ciclo: $\frac{7,63}{5,91} = 1,29$ y multiplicando este valor por el número total de vuelo se obtienen las horas totales de vuelo:

$$P(\text{Accidente}) = \frac{\text{Accidentes totales}}{\text{Horas de vuelo totales}}$$

$$P(\text{Accidente}) = \frac{145}{422532787,9} = 3,43 \cdot 10^{-7} \text{ [1/Hora de Vuelo]}$$

$$P(\text{Accident}) = 3,43168 \times 10^{-7} \text{ [1/Hora de vuelo]}$$

4.1.1 Probabilidad de accidente por ‘tipo de aeronave’

En los siguientes sub-apartados se procede a analizar la probabilidad de accidente a partir de las cuatro clasificaciones que se han visto a lo largo de este proyecto.

La expresión utilizada en este apartado es la siguiente:

$$P(\text{Tipo de aeronave}) = \% \text{ accidentes por tipo de aeronave} * P(\text{Accidente})$$

Y los resultados obtenidos se reflejan en en la tabla 3 y en el diagrama de la figura 25 para que sea más simple y visual.

Tipo de aeronave	% accidentes	P (Fase) [1/Vuelo]	P (Fase) [1/Hora de vuelo]
737-100	1 %	3,05234E-09	2,36668E-09
737-200	47 %	2,07559E-07	1,60934E-07
737-300	21 %	9,15703E-08	7,10003E-08
737-400	16 %	7,02039E-08	5,44335E-08
737-500	6 %	2,44187E-08	1,89334E-08
737-700	2 %	9,15703E-09	7,10003E-09
737-800	8 %	3,66281E-08	2,84001E-08

Tabla 3. Probabilidad de accidente por ‘tipo de aeronave’ (por vuelo y hora de vuelo)

Nota: Solo se reflejan los modelos de los que tenemos información de accidentes.

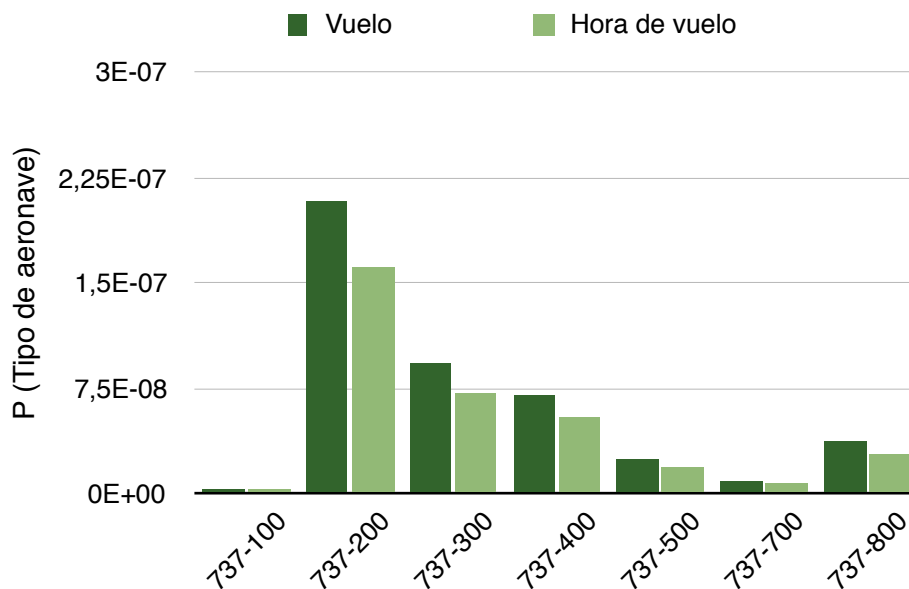


Figura 25. Probabilidad de accidente por 'tipo de aeronave' (por vuelo y hora de vuelo)

Como podemos apreciar en los diferentes diagramas las probabilidades de tener un accidente son mayores en el modelo 737-200 con un total de 2,075E-07 1/Vuelo y 1,60934E-07 1/Hora de vuelo. Y por otro lado encontramos que es la probabilidad de accidente tiende a descender a medida que los modelos son más modernos y tecnológicos, aunque aparece un ligero repunte con el 737-800 debido a que es el modelo más fabricado de todos con casi la mitad de la producción total.

4.1.2 Probabilidad de accidente por 'fase de vuelo'

La expresión utilizada en este apartado es la siguiente:

$$P(\text{Fase de vuelo}) = \% \text{ accidentes por fase de vuelo} * P(\text{Accidente})$$

Y los resultados obtenidos se reflejan en la tabla 4 y la figura 26 para que sea más simple y visual.

Fase	% accidentes	P (Fase) [1/Vuelo]	P (Fase) [1/Hora de vuelo]
Standing (STD)	6,2 %	2,74711E-08	2,13001E-08
Pushback/Towing (PBT)	1,4 %	6,10469E-09	4,73335E-09
Taxi (TXI)	1,4 %	6,10469E-09	4,73335E-09
Takeoff (TOF)	8,3 %	3,66281E-08	2,84001E-08
Initial climb (ICL)	2,8 %	1,22094E-08	9,4667E-09
En route (ENR)	8,3 %	3,66281E-08	2,84001E-08
Approach (APR)	17,9 %	7,93609E-08	6,15336E-08
Landing (LDG)	53,1 %	2,3503E-07	1,82234E-07
Unknown (UNK)	0,7 %	3,05234E-09	2,36668E-09

Tabla 4. Probabilidad de accidente por 'fase de vuelo' (por vuelo y hora de vuelo)

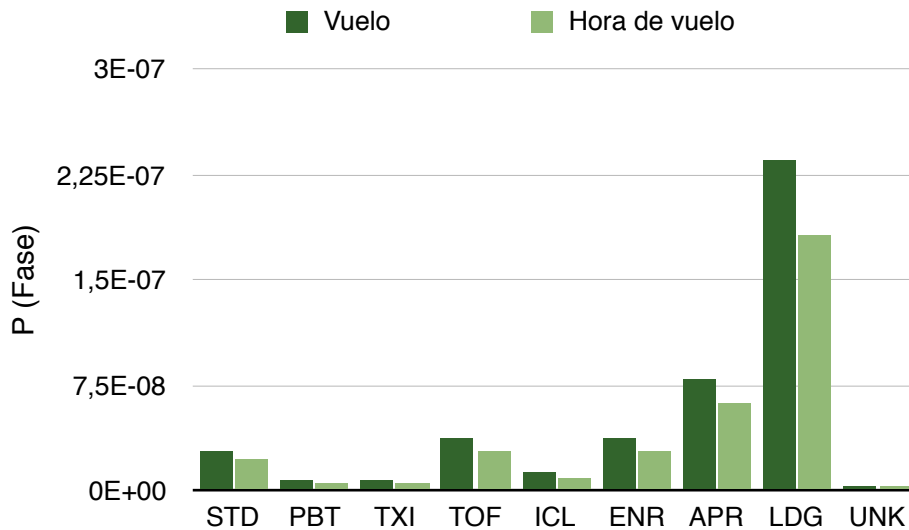


Figura 26. Probabilidad de accidente por 'fase de vuelo' (por vuelo y hora de vuelo)

Como podemos apreciar en la tabla 4 y en la figura 26, la mayor probabilidad de sufrir un accidente ocurre en la fase "Aterrizaje - Landing" con un total de 2,3503E-07 por vuelo y 1,82234E-07 por Hora de Vuelo. Seguido de "Aproximación - Approach". De acuerdo con los datos "Empuje en retroceso/ Remolque - Pushback/Towing" y "Rodaje - Taxi" son las fases más seguras. Por otro lado "En ruta - En route" y "Despegue - Take Off" tienen valores similares y por debajo de 0,05 accidentes por millón de vuelos y horas de vuelo. Es muy poco común que durante la fase "En ruta - En route" ocurran accidentes debido a que se opera con el piloto automático.

4.1.3 Probabilidad de accidente por 'tipo de vuelo'

Siguiendo el mismo procedimiento que en los demás apartados:

$$P(\text{Tipo de vuelo}) = \% \text{ accidentes por tipo de vuelo} * P(\text{Accidente})$$

Los resultados se reflejan en la tabla 5 y la figura 27 para que resulte más sencillo:

Tipo de vuelo	%	P (Fase) [1/Vuelo]	P (Fase) [1/Hora de vuelo]
Domestic Scheduled Passenger	48 %	2,13664E-07	1,65667E-07
International Scheduled Passenger	23 %	1,00727E-07	7,81003E-08
Cargo	10 %	4,57851E-08	3,55001E-08
Unknown	8 %	3,35758E-08	2,60334E-08
Domestic Non Scheduled Passenger	5 %	2,13664E-08	1,65667E-08
Military	2 %	9,15703E-09	7,10003E-09
Ferry/Positioning	2 %	9,15703E-09	7,10003E-09
Training	1 %	6,10469E-09	4,73335E-09
Int'l Non Scheduled Passenger	1 %	3,05234E-09	2,36668E-09

Tabla 5. Probabilidad de accidente por 'tipo de vuelo' (por vuelo y hora de vuelo)

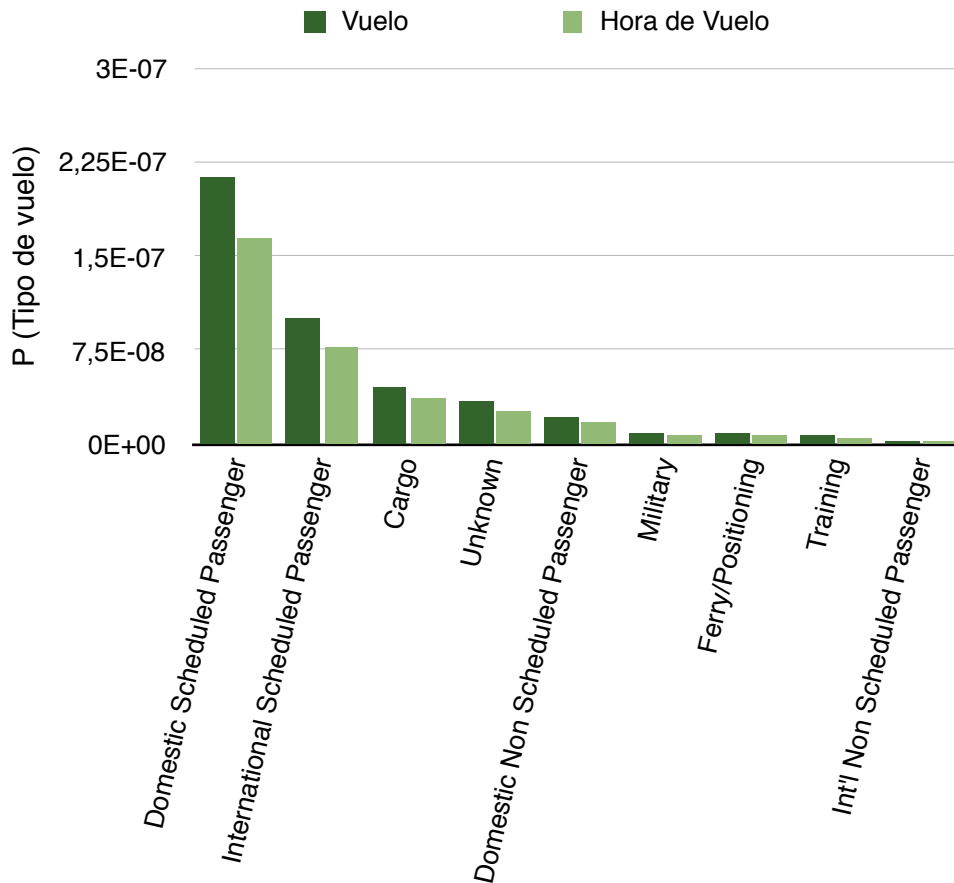


Figure 27. Probabilidad de accidente por 'tipo de vuelo' (por vuelo y hora de vuelo)

Podemos apreciar como la mayor probabilidad de tener un accidente es en vuelos nacionales e internacionales programados, siendo mayor en los nacionales con una probabilidad de 2,13664E-07 por vuelo y 1,6566E-07 por hora de vuelo y los internacionales con 1,007E-07 por vuelo y 7,810E-08 por hora de vuelo. Esto se debe en gran parte a que la mayoría de vuelos operados por nuestro Boeing 737 son comerciales y programados con antelación.

4.1.4 Probabilidad de accidente por 'causa'

Los resultados para cada una de las categorías de nuestra clasificación MTE se muestran a continuación en la tabla 6 y figura 28:

$$P(\text{Causa}) = \% \text{ accidentes por causa} * P(\text{Accidente})$$

Causa	% accidentes	P (Fase) [1/Vuelo]	P (Fase) [1/Hora de vuelo]
External (E)	32,4 %	1,4346E-07	1,11234E-07
Human Error (M)	26,2 %	1,1599E-07	8,99337E-08
Technology (T)	25,5 %	1,1294E-07	8,7567E-08
Unknown (U)	15,9 %	7,0204E-08	5,44335E-08

Tabla 6. Probabilidad de accidente por 'causa' (por vuelo y hora de vuelo)

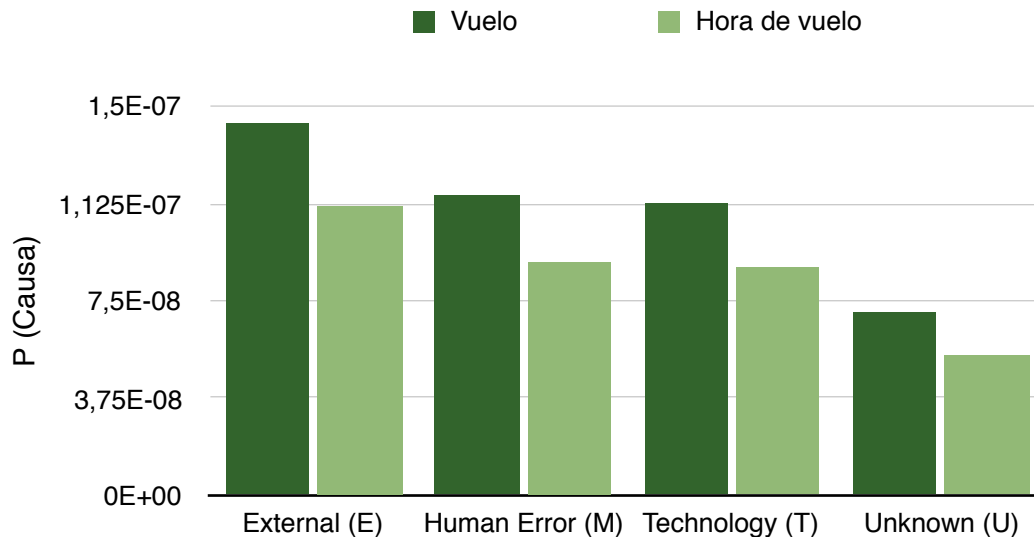


Figure 28. Probabilidad de accidente por 'causa' (por vuelo y hora de vuelo)

La causa más común de tener un accidente es la externa con una probabilidad de $1,4346E-07$ por vuelo y $1,11234E-07$ por hora de vuelo. Observamos que "Error humano - Human Error" y la "Tecnología - Technology" tienen valores muy similares. Por otro lado contamos con la categoría "Unknown - Desconocido" la cual presenta un elevado número de casos. Tras consultar con el tutor se ha decidido omitir esta categoría, dado que si hubiésemos contado con la información necesaria estos casos estarían incluidos en las otras tres categorías. De este modo y para las próximas secciones los cálculos se realizarán omitiendo esta categoría. Teniendo esto en cuenta, se ha de valorar la baja probabilidad de que tenga lugar un accidente atribuible a la tecnología de la propia aeronave, destacando su fiabilidad en servicio.

4.2 Análisis de riesgo

Analizando las probabilidades de accidente presentadas en el apartado anterior, se puede comprobar que estadísticamente las aeronaves son medios de transporte seguros, con un nivel de accidentes por horas de vuelo considerablemente bajo. A medida que la tecnología avanza la seguridad en aviación también lo hace. Incluso actividades tan cotidianas como andar o conducir tienen mayor riesgo de accidente [28]. Se estima que el riesgo de catástrofe en pasajeros de aerolíneas comerciales es de uno por cada 45 millones de vuelos. Si bien el % de incidentes y accidentes es muy bajo en horas de vuelo frente a los automóviles, la sonoridad y repercusión de los mismos (especialmente cuando en estos se sufren pérdidas humanas) aporta un estigma al mundo de la aviación que únicamente con la acción conjunta de controladores, ingenieros, pilotos y aerolíneas es posible superar y dejar atrás. Hay muchas razones para que esto sea así: los aviones y motores cada día son más fiables, contamos con mayor tecnología de navegación y avisos, que ha reducido drásticamente accidentes como colisiones contra obstáculos en condiciones de baja visibilidad. Controladores, ingenieros, pilotos y aerolíneas cada vez son más conscientes en que la seguridad es lo primero y por ello comparten una amplia red de avances, sucesos e investigaciones con el fin de mejorar y prevenir accidentes, en vez de simplemente reaccionar a ellos cuando ocurren, y si esto pasa, las posibilidades de supervivencia son mayores. [26]

4.2.1 Categorías de pérdida

El análisis de riesgo llevado a cabo en este proyecto hace necesario que se establezcan categorías de pérdida para poder clasificarlos mejor. Como podemos observar en la figura 29, se definieron 6 categorías en base a un criterio propio al autor del trabajo, en las que se engloban tanto los daños en el avión como el porcentaje de víctimas mortales en el accidente. En los 145 casos estudiados no hay ninguno en el que se presenten fallecidos y el avión no haya sufrido un daño total o destruido, lo que hace que en una sola de las categorías presentes la aeronave en cuestión sea reparable y pueda continuar en servicio.

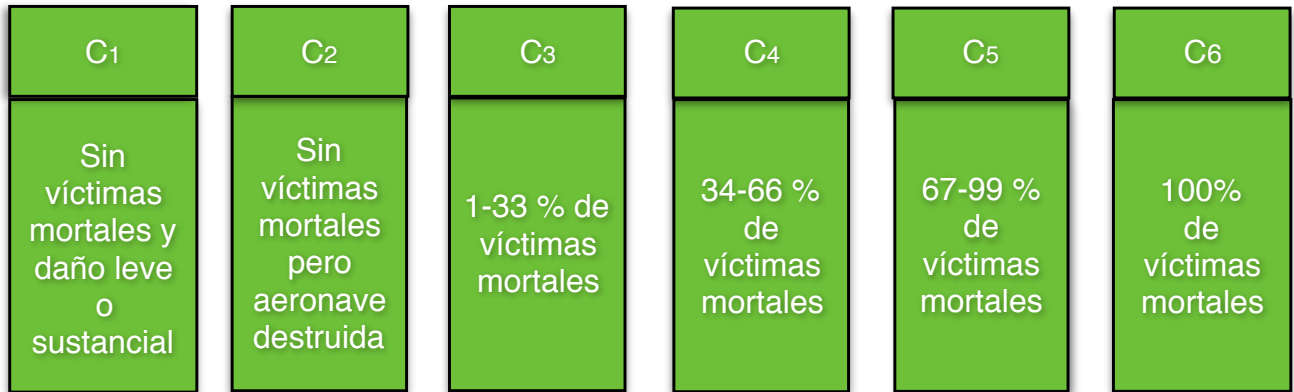


Figura 29. Definición de categorías de pérdida

En los siguientes diagramas podemos observar el número de accidentes por cada categoría y el porcentaje que representan frente al total:

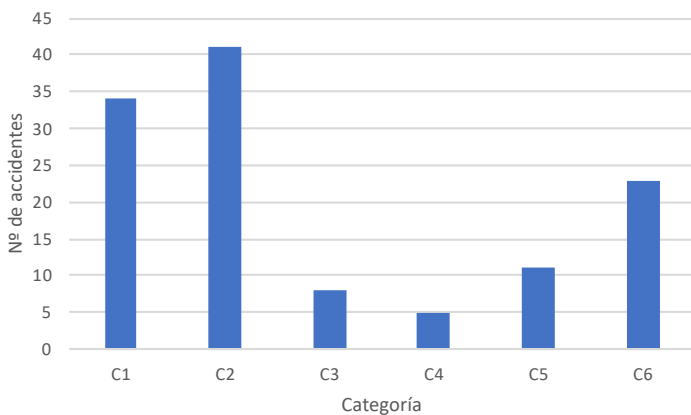


Figura 30. Nº de accidentes por categoría

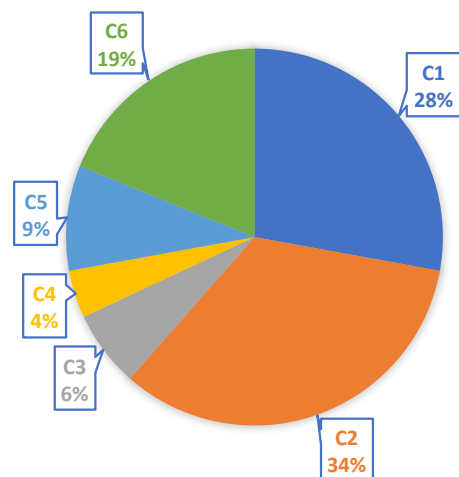


Figura 31. Porcentaje de accidentes por categoría

De acuerdo a la figura 29 presentada más arriba y a la lista de accidentes de nuestro Anexo 1, el cálculo de accidentes de cada categoría por cada causa de accidente se obtiene de la siguiente manera:

$$P_j = \frac{\text{Número de accidentes por categoría y por causa}}{\text{Total de accidentes por causa}}$$

Causa	C1	C2	C3	C4	C5	C6	TOTAL
Technology (T)	13	10	4	0	4	6	37
Human Error (M)	9	8	1	2	4	14	38
External (E)	12	23	3	3	3	3	47

Tabla 7. Número de accidentes por categoría y causa

Causa	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Technology (T)	0,3514	0,2703	0,1081	0,00	0,1081	0,1622
Human Error (M)	0,2368	0,2105	0,0263	0,0526	0,1053	0,3684
External (E)	0,2553	0,4894	0,0638	0,0638	0,0638	0,0638

Tabla 8. Probabilidad de accidente por categoría

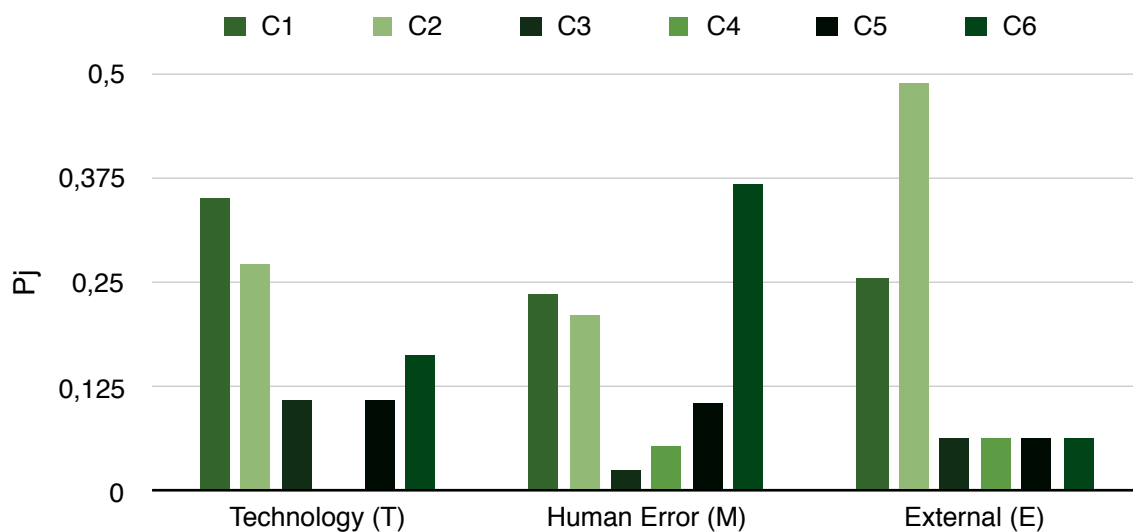


Figura 32. Gráfico Pj

Analizando las tablas 6 y 7 y el gráfico presentado en la figura 32 podemos concluir que la mayoría de accidentes estudiados en estos 25 años no tuvieron víctimas mortales con un 62% de los casos (C1 + C2), aunque por otro lado observamos que hay un alto porcentaje de accidentes con el total de pasajeros fallecidos, 19%.

En cuanto a los accidentes por causa, se aprecia que tanto “Tecnología - Technology” como “Causa Externa - External” no suelen terminar en accidentes con víctimas mortales sino en daños a la aeronave mientras que “Error humano - Human Error” tiene un alto porcentaje con elevado número de víctimas mortales. Encontramos pocos accidentes de categoría 3 y 4 para los diferentes tipos de causa, incluso en “Tecnología - Technology” no hay ningún accidente de categoría 4. Ésto puede deberse a que la categoría 4 engloba un tipo de accidente muy concreto, que es aquel donde el número de víctimas y supervivientes se equipara, no es un accidente donde pueda haber algún fallecido por un fallo puntual (C3) ni tampoco un accidente fatal donde perezcan todos los ocupantes (C6) o la gran mayoría con algún superviviente a la tragedia (C5).

4.2.2 Evaluación de peligros - Hazard measure

El siguiente paso es la medida del peligro ($Z(c_j)$), que ha sido calculado según las fórmulas obtenidas en el libro “Reliability, Maintainability and Risk: Practical Methods for Engineers” [1], de la siguiente manera:

$$Z(c_j) = P \{ C \geq c_j | A \}$$

$$Z_0 = \tilde{C}_1$$

En este caso:

$$Z(c_1) = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 = 1$$

$$Z(c_2) = p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6$$

$$Z(c_3) = p_3 + p_4 + p_5 + p_6$$

$$Z(c_4) = p_4 + p_5 + p_6$$

$$Z(c_5) = p_5 + p_6$$

$$Z(c_6) = p_6$$

Causa	Z(c ₁)	Z(c ₂)	Z(c ₃)	Z(c ₄)	Z(c ₅)	Z(c ₆)
Technology (T)	1,0000	0,6486	0,3784	0,2703	0,2703	0,1622
Human Error (M)	1,0000	0,7632	0,5526	0,5263	0,4737	0,3684
External (E)	1,0000	0,7447	0,2553	0,1915	0,1277	0,0638

Tabla 9. Evaluación de peligros por causa de accidente y categoría

Estos cálculos serán utilizados en la siguiente sección para la evaluación final de riesgos.

4.3 Evaluación final de riesgo

Para terminar con el análisis de riesgo se calcula el riesgo por vuelo y por hora de vuelo basándose en todas las investigaciones y datos que se han obtenido en los apartados anteriores.

Es importante reiterar que los casos “Desconocido - Unknown” han sido omitidos para realizar los nuevos cálculos, por lo que se han obtenido unos porcentajes y probabilidades diferentes a las del apartado 3.4:

Causa	Nº de accidentes	%	P (Fase) [1/Vuelo]	P (Fase) [1/Hora de vuelo]
Technology (T)	37	30,33 %	1,1294E-07	8,75E-08
Human Error (M)	38	31,15 %	1,1599E-07	8,99E-08
External (E)	47	38,52 %	1,4346E-07	1,11E-07

Table 10. Porcentaje y probabilidades recalculados por causa de accidente (por vuelo y por hora de vuelo)

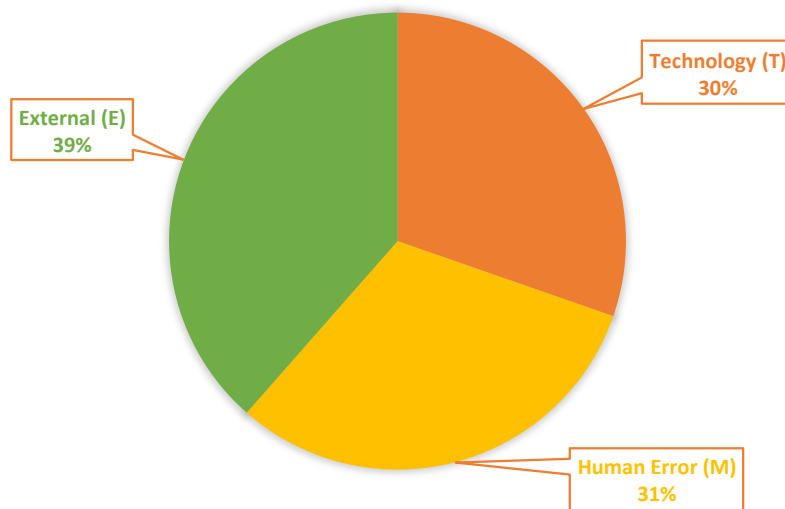


Figura 33. Porcentaje recalculado de accidentes por causa

Siguiendo la siguiente fórmula podemos calcular el valor final del riesgo por cada categoría usando la información de las tablas 8 y 9:

$$R (1/Vuelo)_{Causa} = P(Causa) X Z(Cj)$$

Causa	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Technology (T)	1,129E-07	7,326E-08	4,273E-08	3,052E-08	3,052E-08	1,831E-08
Human Error (M)	1,160E-07	8,852E-08	6,410E-08	6,105E-08	5,494E-08	4,273E-08
External (E)	1,435E-07	1,068E-07	3,663E-08	2,747E-08	1,831E-08	9,157E-09
TOTAL	3,724E-07	2,686E-07	1,435E-07	1,190E-07	1,038E-07	7,020E-08

Tabla 11. Evaluación del riesgo por vuelo

Los valores de riesgo por año se pueden calcular usando la media de horas de vuelo al día (7,627 h/día), el total de días de estudio (9125 días) y el periodo de estudio (1992-2017 ambos incluidos, 26 años):

$$R(1/\text{Año})_{\text{Causa}} = P(\text{Causa}) \times Z(C_j) \times 7,627 \times 9125 / 26$$

Causa	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Technology (T)	2,34E-04	1,52E-04	8,87E-05	6,33E-05	6,33E-05	3,80E-05
Human Error (M)	2,41E-04	1,84E-04	1,33E-04	1,27E-04	1,14E-04	8,87E-05
External (E)	2,98E-04	2,22E-04	7,60E-05	5,70E-05	3,80E-05	1,90E-05
TOTAL	7,73E-04	5,57E-04	2,98E-04	2,47E-04	2,15E-04	1,46E-04

Tabla 12. Evaluación del riesgo por año

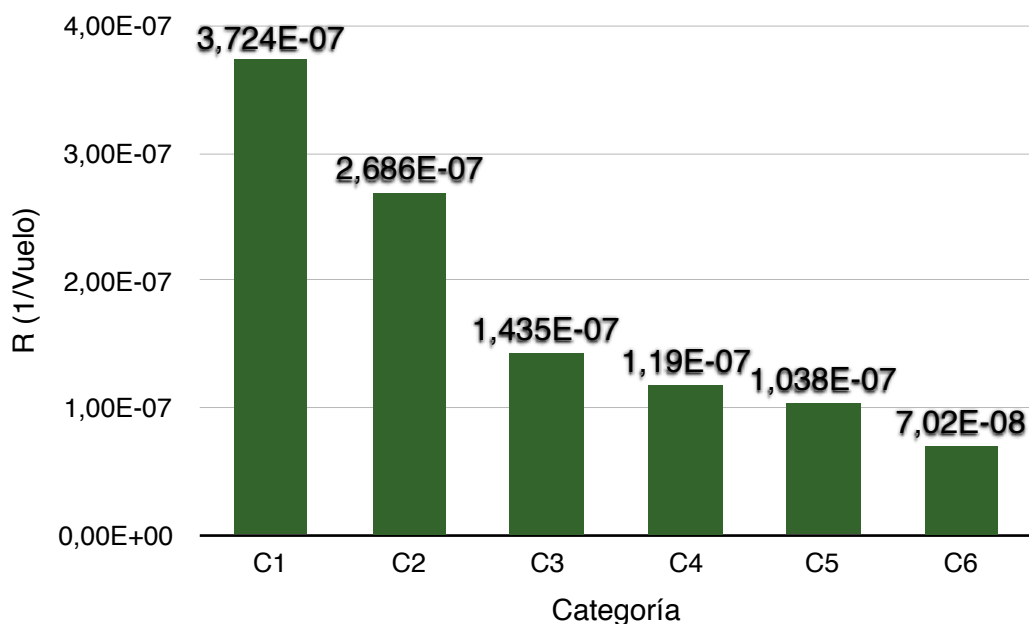


Figure 34. Riesgo por vuelo
42

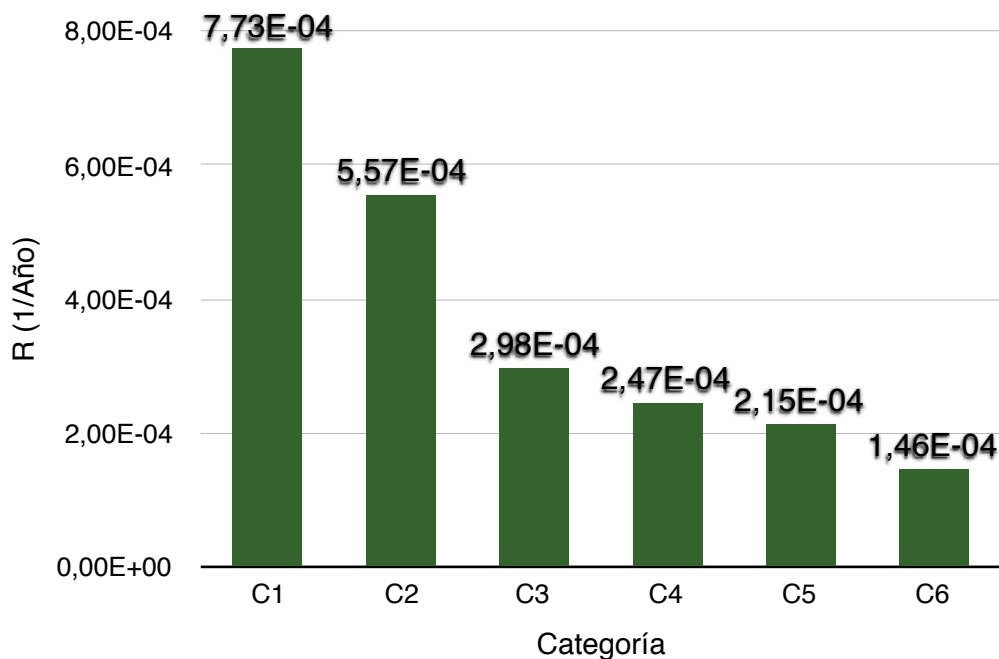


Figura 35. Riesgo por año

Las figuras 34 y 35 representan el valor total del riesgo por categoría de pérdida que encontramos en las tablas 10 y 11. Podemos apreciar como ambos gráficos siguen la misma tendencia, por un lado las categorías de C3 a C5 tienen valores muy similares, mientras que el riesgo aumenta cuando hablamos de las categorías C1 y C2 (sin víctimas mortales). El riesgo de tener un accidente sin víctimas mortales es más del doble que el de tener al menos una víctima mortal (C3).

5. CONCLUSIONES

A la vista de los datos arrojados por el análisis probabilístico realizado se puede concluir que el transporte aéreo es un medio seguro para realizar desplazamientos de personas o mercancías. En este caso, se ha centrado el estudio en el modelo Boeing 737 que se estima como una buena referencia dado que se trata de la aeronave con más unidades vendidas en la historia, siendo el primer modelo en alcanzar las 10.000 entregas en el mes de marzo de 2018 [29].

No obstante, su gran éxito comercial no está plenamente desligado de la fatalidad, pues la probabilidad de sufrir un accidente, si bien se encuentra en un proceso constante de mejora, como queda patente en las estadísticas desarrolladas en este trabajo, es distinta de cero. Como se ha establecido en este trabajo, estamos analizando un sistema compuesto de: Man-Hombre, Technology-Tecnología, Environment-Entorno (M-T-E).

Aunque el componente tecnológico se ha desarrollado exponencialmente y existen nuevas medidas de seguridad y precaución, no se debe olvidar que en el mundo actual, no se permite que la tecnología se desligue de la acción humana por completo en cuestiones de seguridad y sigue existiendo el factor humano, el cual, a la hora de tomar decisiones se encuentra sujeto a una probabilidad de error no nula. Los humanos cometemos errores por naturaleza y sabiendo esto, e incorporando el análisis de confiabilidad y riesgo en aviación, podemos alcanzar los objetivos propuestos y reducir la probabilidad de accidentes al mínimo. Lo que se busca es mejorar la relación entre el 'humano' y su entorno, tanto en formación como en software y tecnología.

El análisis de nuestra base de datos nos muestra que:

Condiciones externas como el mal tiempo o impacto de objetos o seres donde destacan especialmente los impactos de aves, denominados como 'bird strikes' pueden aumentar considerablemente la posibilidad de tener un accidente, al igual que malas decisiones tomadas por los pilotos o controladores aéreos, derivadas de estas situaciones. Resulta muy complicado controlar estos factores externos del entorno, pero sí podemos formar a nuestros agentes humanos e incorporar tecnología para reducir el riesgo de accidente.

La mayoría de accidentes ocurren en vuelos programados tanto nacionales como internacionales, dado que nuestra aeronave, el Boeing 737, fue especialmente diseñada para su uso en aerolíneas con vuelos comerciales de transporte de pasajeros a corto y medio alcance.

Se observa que los últimos modelos lanzados al mercado (-900 y -MAX) son los menos accidentados. Este dato, si bien apunta a una alta fidelidad de los modelos señalados, también se debe al relativo poco tiempo de uso de los mismos. Teniendo en cuenta este hecho, se vaticina que el factor tiempo de vida de la aeronave es clave para el análisis de accidentes, respecto a este mismo punto, se ha de tener en cuenta que las series -100 y -200 abarcan aviones construidos desde los años 60, por lo que en términos de vida operativa resulta complejo realizar un análisis comparativo entre aeronaves de distintas series para un mismo período de tiempo por el acumulado que acarrearán los modelos más antiguos.

Sin embargo, sí que se puede destacar que el número de entregas de estas aeronaves (-900 y -MAX) supera holgadamente el de la serie 400 o 500 (siendo estas aeronaves más modernas al comenzar su fabricación en la década de los 80) sin haber sufrido ningún accidente, lo cual es señal inequívoca de que los esfuerzos aunados de fabricantes, mantenimiento, sistemas integrados de aviónica y normativa se encuentran en la buena dirección para paliar y reducir al máximo los accidentes, así como tener los mejores recursos posibles frente a cualquier contratiempo, representado en las condiciones externas expuestas anteriormente.

Analizando los datos extraídos de la base desarrollada en este trabajo, si atendemos a la distribución de accidentes según la fase de vuelo en que suceden, resulta destacable que el 71% de los mismos tienen lugar en las últimas fases del vuelo (aproximación y aterrizaje) con más de la mitad en la fase aterrizaje y la mayoría de ellos debido a "salida de pista - runway excursion". Un análisis más profundo de la situación muestra que este tipo de accidentes sucede mayoritariamente en países del sudeste, sobre todo en países del sudeste asiático como Indonesia, Tailandia y Malasia.

En mi opinión estos casos ocurren en países que dependen del transporte aéreo debido a todas las islas que poseen, con una infraestructura precaria y un nivel económico bajo. Prueba de ello son los numerosos casos reportados del Boeing 737-200, uno de los modelos más antiguos y retirados a estos países para aerolíneas de bajo coste, con pilotos inexpertos. Como solución mejoraría la formación de todos los pilotos y personal, por ejemplo, con medidas y cursos globales obligatorios para todos los países e implementadas por ICAO.

En cuanto a mejoras tecnológicas propondría la incorporación de sistemas como el GNSS o métodos de augmentación que incrementan la seguridad y precisión, sobre todo en fases de aproximación y aterrizaje.

Otro hecho remarcable en el estudio y junto con la ayuda del tutor de este trabajo Juan Sebastian Gaviria, al cual agradezco su apoyo y ayuda en este proyecto, es la falta de concentración de los pilotos cuando hay más pilotos en el cockpit como supervisores o examinadores. Como ejemplo tenemos el vuelo de Turkish Airlines 1951 de Estambul a Amsterdam el 25 de febrero de 2009. Después de haber leído el informe final [30] y el de otros casos similares, se ha llegado a la conclusión de que los pilotos se relajan y desconcentran cuando tienen un supervisor en el cockpit y no siguen los procesos normales y regulados. En algunos de estos casos, el supervisor 'provoca' un fallo para ver cómo reacciona el piloto y éste no lo hace como debería, pensando que la responsabilidad es del examinador y terminando en accidente. Es un problema muy serio, ya que se crean situaciones muy confusas en la que no se sabe quién debería hacer qué. Como posible solución se propone estudiar estos casos en profundidad y cambiar el modo de examinar/supervisar con cámaras en el cockpit y comunicación con una base en tierra.

Para seguir con estos avances y mejorar la seguridad aérea, está claro que debemos aprender de accidentes pasados e implementar mejoras en todos los ámbitos que conforman este sector y así evitar la repetición de accidentes y víctimas mortales. He aprendido mucho elaborando este proyecto, pero me gustaría destacar que la obtención de la base de datos ha sido muy complicada porque no se cuenta con suficiente información o a veces faltan algunos datos que son confidenciales y que serían muy útiles para obtener conclusiones. El futuro está en nosotros y el factor humano seguirá siendo el más importante, ya que de éste depende la toma de decisiones, la creación de avances tecnológicos y la formación. Sigamos avanzando hacia un mañana más seguro y eficiente.

6. BIBLIOGRAFÍA

[1] "Reliability, Maintainability and Risk: Practical Methods for Engineers".

Dr. David J. Smith

[2] "Risk analysis in theory and practice".

Jean Paul-Chavas. ISBN: 0-12-170621-4

[3] "Safety Management Manual (SMM)". DOC 9859 AN/474

ICAO 2013. ISBN 978-92-9249-214-4

[4] "Effective Maintenance Management: Risk and Reliability Strategies for Optimizing Performance".

V. Narayan. ISBN: 0-8311-3178-0

[5] ICAO Información y definiciones.

<https://www.icao.int/about-icao/Pages/default.aspx>

[6] Historia de Boeing y productos.

<http://www.boeing.com/history/products/737-classic.page>

[7] Características del Boeing 737.

<http://www.boeing.com/assets/pdf/commercial/airports/acaps/737.pdf>

[8] Flota B737

<https://www.airlines-inform.com/commercial-aircraft/Boeing-737-family.html>

[9] Boeing 737 MAX.

https://en.wikipedia.org/wiki/Boeing_737_MAX

[10] Safety Management Systems (SMS) Course. Module No 5

<https://www.icao.int/safety/afiplan/Documents>

[11] "Risk and Reliability in Aviation"

T. Szopa

[12] Aircraft Accident and Incident Investigation Annex 13 to the Convention on International Civil Aviation. In : International Standards and Recommended Practices, vol. 1, pp."1-1" (2001)]

[13] ICAO&CAST: Definitions And Usage Notes on Phases of Flight. In : The International Civil . Aviation Organization (ICAO) and the Commercial Aviation Safety - Common Taxonomy, pp.2-7 (2013)

[14] ICAO daño a la aeronave.

[https://www.icao.int/safety/airnavigation/AIG/Documents/ADREP%20Taxonomy/ECCAIRS%20Aviation%201.3.0.12%20\(V4%20CD%20Damage%20aircraft\).pdf](https://www.icao.int/safety/airnavigation/AIG/Documents/ADREP%20Taxonomy/ECCAIRS%20Aviation%201.3.0.12%20(V4%20CD%20Damage%20aircraft).pdf)

[15] Clasificación de accidentes.

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.471.1234&rep=rep1&type=pdf>

[16] Base de datos accidentes.

<https://aviation-safety.net>

[17] Base de datos accidentes.

http://www.planespotters.net/Production_List/Boeing/737/22596_C6-BFM-Bahamasair.php

[18] Base de datos accidentes.

http://www.b737.org.uk/accident_reports.htm

[19] Horas de Vuelo y Ciclos dia oficiales de Boeing.

<http://www.boeing.com/commercial/737ng/?#/design-highlights/proven-performance/profitability/more-revenue/>

[20] Preface.

<https://www.nytimes.com/2013/02/12/business/2012-was-the-safest-year-for-airlines-globally-since-1945.html>

[21] Imágenes.

<http://www.norebbo.com/2014/04/boeing-737-700-blank-illustration-templates/>

[22] Imágenes.

<http://www.b737.org.uk/737classic.htm>

[23] ICAO - Anexo 13 — Investigación de accidentes e incidentes aéreos.

[24] ICAO - Safety Management Systems (SMS) Course. Module N° 5 (31/5/17) - <https://www.icao.int/safety/afiplan/Documents>

[25] Equipo de taxonomía común, definiciones las fases de vuelo y notas de uso.

DEFINICIONES DE LA FASE DE VUELO Y NOTAS DE USO Octubre, 2002

[26] Pedidos y entregas del Boeing 737

<http://www.boeing.com/commercial/#/orders-deliveries>

[27] Reglamentos aeronáuticos de Colombia.

<http://www.aerocivil.gov.co/normatividad/RAC/RAC%20%201%20-%20Definiciones.pdf>

[28] Riesgos de la vida cotidiana, resbalones, tropiezos y caídas

http://rm.rutherfordcountyttn.gov/documents/slip_trip_fall_safety_trng_spanish.pdf

[29] Producción Boeing 737

<http://www.guinnessworldrecords.com/news/commercial/2018/3/boeing-celebrates-its-10-000th-737-aircraft-with-a-new-record-518888>

[30] Informe final accidente Turkish Airlines 1951

<https://aviation-safety.net/database/record.php?id=20090225-0>

Anexo 1.

No.	Date of the accident	Serie s	First flight	Operating life days	Total fatalities	Total occupants	% of fatalities	Airplane damage	Location	Phase	Nature	Total airframe hrs	Cycles	Cause	Hours/day	Cycles/day	Hours/cycle	Category of loss
1	6/2/92	200	15/1/80	4341	47	47	100%	Written off (damaged beyond repair)	America	En route (ENR)	International Scheduled Passenger	45946,00	17845,00	Man (M)	10,58	4,11	2,574726814	C6
2	22/6/92	200	22/12/75	5940	3	3	100%	Written off (damaged beyond repair)	America	Approach (APR)	Cargo	-	-	Technology (T)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C6
3	20/11/92	200	11/9/70	7989	0	113	0%	Written off (damaged beyond repair)	America	Takeoff (TOF)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	Technology (T)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
4	24/11/92	300	10/5/91	554	141	141	100%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Approach (APR)	Domestic Non Scheduled Passenger	4165,00	3153,00	Technology (T)	7,52	5,69	1,320964161	C6
5	30/3/93	300	28/8/89	1292	6	6	100%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Unknown (UNK)	Military	-	-	Technology (T)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C6
6	26/4/93	200	18/9/74	6698	55	118	47%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Takeoff (TOF)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	Man (M)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C4
7	18/7/93	200	17/7/72	7561	0	94	0%	Written off (damaged beyond repair)	America	Landing (LDG)	International Scheduled Passenger	-	-	External (E)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
8	26/7/93	500	14/6/90	1122	68	116	59%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Approach (APR)	Domestic Scheduled Passenger	7301	5707,00	External (E)	6,51	5,09	1,279306115	C4
9	19/11/93	100	2/6/69	8807	0	92	0%	Written off (damaged beyond repair)	America	Landing (LDG)	International Scheduled Passenger	-	-	External (E)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
10	8/3/94	200	25/4/79	5353	4	4	100%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Takeoff (TOF)	Training	-	-	Man (M)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C6
11	20/7/94	300	17/11/92	603	0	148	0%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	External (E)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
12	8/9/94	300	24/9/87	2504	127	132	96%	Written off (damaged beyond repair)	America	Approach (APR)	Domestic Scheduled Passenger	23846	-	Technology (T)	9,52	# VALOR!	# VALOR!	C6
13	26/11/94	200	6/3/69	9260	0	2	0%	Substantial	America	Pushback/Towing (PBT)	Unknown	-	-	Man (M)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C1
14	21/12/94	200	17/5/73	7774	5	5	100%	Written off (damaged beyond repair)	Europe	Approach (APR)	Cargo	-	-	Man (M)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
15	29/12/94	400	25/9/92	814	57	76	75%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Approach (APR)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	External (E)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C5
16	2/1/95	200	13/11/73	7609	0	-	# VALOR!	Written off (damaged beyond repair)	Africa	Landing (LDG)	Unknown	-	-	External (E)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
17	16/1/95	200	23/9/71	8393	0	57	0%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	External (E)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
18	2/2/95	200	19/7/74	7393	0	128	0%	Written off (damaged beyond repair)	America	Takeoff (TOF)	International Scheduled Passenger	-	-	Technology (T)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C1
19	9/8/95	200	26/9/87	2833	65	65	100%	Written off (damaged beyond repair)	America	Approach (APR)	International Scheduled Passenger	16645	20323,00	Man (M)	5,88	7,17	0,819022782	C6
20	13/11/95	200	14/10/82	4709	11	138	8%	Written off (damaged beyond repair)	Africa	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	22375	27567,00	Man (M)	4,75	5,85	0,811658867	C3
21	2/12/95	200	4/11/74	7588	0	108	0%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	Man (M)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
22	3/12/95	200	14/8/85	3709	71	76	93%	Written off (damaged beyond repair)	Africa	Approach (APR)	International Scheduled Passenger	18746	23233,00	Technology (T)	5,05	6,26	0,806869539	C5
23	29/2/96	200	21/10/68	9848	123	123	100%	Written off (damaged beyond repair)	America	Approach (APR)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	Technology (T)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C6
24	3/5/96	200	27/3/74	7956	35	35	100%	Written off (damaged beyond repair)	Europe	Approach (APR)	Military	-	-	Man (M)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C6
25	14/2/97	200	10/1/75	7954	1	52	2%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	External (E)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C3
26	1/4/97	200	27/10/68	10234	0	5	0%	Written off (damaged beyond repair)	America	Landing (LDG)	Unknown	-	-	External (E)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
27	8/5/97	300	28/1/94	1180	35	74	47%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	External (E)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C4
28	3/8/97	200	15/4/69	10188	0	114	0%	Written off (damaged beyond repair)	Africa	Takeoff (TOF)	International Scheduled Passenger	-	-	Technology (T)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
29	6/9/97	200	20/10/76	7516	0	85	0%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Takeoff (TOF)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	Technology (T)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
30	19/12/97	300	27/1/97	322	104	104	100%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	En route (ENR)	International Scheduled Passenger	-	-	Man (M)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C6
31	2/2/98	200	24/11/69	10148	0	0	0%	Written off (damaged beyond repair)	America	Standing (STD)	Unknown	-	-	External (E)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2

Anexo 1.

32	22/2/98	200	17/3/88	3575	0	24	0%	Minor	Africa	Taxi (TXI)	Training	-	-	Man (M)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C1
33	12/5/98	200	9/9/74	8523	0	88	0%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	71160	84935,00	External (E)	8,35	9,97	0,837817154	C2
34	5/5/98	200	25/4/83	5410	75	88	85,23%	Written off (damaged beyond repair)	America	Approach (APR)	Domestic Non Scheduled Passenger	37129	23935,00	External (E)	6,86	4,42	1,55124295	C5
35	19/7/98	200	11/9/75	8228	0	100	0%	Written off (damaged beyond repair)	Africa	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	Technology (T)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
36	16/9/98	500	12/9/97	364	0	108	0%	Written off (damaged beyond repair)	America	Landing (LDG)	International Scheduled Passenger	-	-	External (E)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
37	1/11/98	200	10/6/77	7701	0	105	0%	Written off (damaged beyond repair)	America	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	45856	49360,00	Technology (T)	5,95	6,41	0,929011345	C2
38	1/1/99	200	29/3/74	8912	0	-	-	Written off (damaged beyond repair)	Africa	Landing (LDG)	Unknown	-	-	Technology (T)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
39	4/3/99	200	27/11/82	5857	0	97	0%	Written off (damaged beyond repair)	Europe	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	External (E)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
40	7/4/99	400	6/9/95	1291	6	6	100%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	En route (ENR)	Ferry/positioning	11600	6360,00	Man (M)	8,99	4,93	1,823899371	C6
41	10/5/99	200	8/3/69	10862	0	6	0%	Written off (damaged beyond repair)	America	Landing (LDG)	Military	-	-	Unknown (U)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
42	17/5/99	200	9/9/69	10688	0	-	# VALOR!	Written off (damaged beyond repair)	America	Standing (STD)	Unknown	-	-	Unknown (U)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
43	9/6/99	300	2/7/91	2857	0	90	0%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	External (E)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
44	31/8/99	200	14/4/70	10577	63	103	61%	Written off (damaged beyond repair)	America	Takeoff (TOF)	Domestic Scheduled Passenger	6784	41851,00	Man (M)	0,64	3,96	0,162098875	C4
45	5/3/00	300	21/12/84	5474	0	142	0%	Written off (damaged beyond repair)	America	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	Man (M)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
46	19/4/00	200	19/1/78	8010	131	131	100%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Approach (APR)	Domestic Scheduled Passenger	68475	79522,00	Man (M)	8,55	9,93	0,861082468	C6
47	26/5/00	200	14/6/84	5742	0	-	# VALOR!	Substantial	Africa	Landing (LDG)	Cargo	-	-	Unknown (U)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C1
48	17/7/00	200	29/5/80	7248	55	58	95%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Approach (APR)	Domestic Scheduled Passenger	44087	51278,00	Man (M)	6,08	7,07	0,859764421	C5
49	3/3/01	400	22/8/91	3431	1	8	13%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Standing (STD)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	Technology (T)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C3
50	4/4/01	200	6/3/73	10108	0	2	0%	Written off (damaged beyond repair)	America	Landing (LDG)	Cargo	-	-	External (E)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C3
51	22/5/01	200	2/5/75	9380	0	104	0%	Written off (damaged beyond repair)	America	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	Technology (T)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
52	16/9/01	200	6/1/75	9610	0	67	0%	Written off (damaged beyond repair)	America	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	68500	65500,00	External (E)	7,13	6,82	1,045801527	C2
53	14/1/02	200	5/11/69	11589	0	103	0%	Substantial	Asia	Takeoff (TOF)	Domestic Scheduled Passenger	68133	66998,00	Technology (T)	5,88	5,78	1,016940804	C1
54	16/1/02	300	7/4/89	4599	1	60	2%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Approach (APR)	Domestic Scheduled Passenger	27701	24139,00	External (E)	6,02	5,25	1,147562037	C3
55	7/5/02	500	24/9/91	3823	14	62	23%	Written off (damaged beyond repair)	Africa	Approach (APR)	International Scheduled Passenger	26082	15686,00	Unknown (U)	6,82	4,10	1,662756598	C3
56	26/1/03	200	26/5/76	9600	0	93	0%	Written off (damaged beyond repair)	America	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	External (E)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
57	6/3/03	200	9/6/82	7467	102	103	99%	Written off (damaged beyond repair)	Africa	Initial climb (ICL)	Domestic Scheduled Passenger	41472	27184,00	Technology (T)	5,55	3,64	1,525603296	C5
58	12/3/03	200	19/10/85	6263	0	-	# VALOR!	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Standing (STD)	Unknown	-	-	Unknown (U)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
59	26/3/03	400	14/6/95	2802	0	60	0%	Written off (damaged beyond repair)	Africa	Landing (LDG)	Domestic Non Scheduled Passenger	-	-	Unknown (U)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
60	8/7/03	200	29/8/75	10029	116	117	99%	Written off (damaged beyond repair)	Africa	Approach (APR)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	Technology (T)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C5
61	19/12/03	300	10/8/87	5889	0	131	0%	Written off (damaged beyond repair)	Africa	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	External (E)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
62	13/12/03	200	18/11/74	10465	0	100	0%	Written off (damaged beyond repair)	America	Landing (LDG)	International Scheduled Passenger	62716	62162,00	Man (M)	5,99	5,94	1,008912197	C2
63	3/1/04	300	9/10/92	4044	148	148	100%	Written off (damaged beyond repair)	Africa	En route (ENR)	Domestic Non Scheduled Passenger	25603	17976,00	Unknown (U)	6,33	4,45	1,424287939	C6
64	11/8/04	200	6/8/86	6485	0	127	0%	Written off (damaged beyond repair)	Africa	Takeoff (TOF)	International Scheduled Passenger	-	-	Man (M)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2

Anexo 1.

65	28/11/04	400	9/1/92	4639	0	146	0%	Written off (damaged beyond repair)	Europe	Landing (LDG)	International Scheduled Passenger	31756	22156,00	External (E)	6,85	4,78	1,433291208	C2
66	4/1/05	200	7/4/70	12507	0	2	0%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Landing (LDG)	Cargo	-	-	External (E)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
67	3/2/05	200	4/1/80	9029	105	105	100%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	En route (ENR)	Domestic Scheduled Passenger	51363	42055,00	Unknown (U)	5,69	4,66	1,221329212	C6
68	14/8/05	300	27/12/97	2747	121	121	100%	Written off (damaged beyond repair)	Europe	En route (ENR)	International Scheduled Passenger	17900	16085,00	Man (M)	6,52	5,86	1,112838048	C6
69	23/8/05	200	4/8/81	8659	40	98	41%	Written off (damaged beyond repair)	America	Approach (APR)	Domestic Scheduled Passenger	49865	45262,00	External (E)	5,76	5,23	1,101696788	C4
70	5/9/95	200	20/7/81	5085	100	117	85%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Initial climb (ICL)	Domestic Scheduled Passenger	51599	51335,00	Man (M)	10,15	10,10	1,005142629	C5
71	9/10/05	400	10/12/90	5339	0	117	0%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	Unknown (U)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
72	22/8/05	200	13/11/81	8559	117	117	100%	Written off (damaged beyond repair)	Africa	En route (ENR)	Domestic Scheduled Passenger	55772	36266,00	External (E)	6,52	4,24	1,537859152	C6
73	15/6/06	300	27/2/87	6948	0	2	0%	Written off (damaged beyond repair)	Europe	Landing (LDG)	Cargo	45832	34088,00	Technology (T)	6,60	4,91	1,344520066	C2
74	29/9/06	800	12/4/06	167	154	154	100%	Written off (damaged beyond repair)	America	En route (ENR)	Domestic Scheduled Passenger	202	162,00	Man (M)	1,21	0,97	1,24691358	C6
75	3/9/06	200	27/1/83	8496	0	110	0%	Substantial	Asia	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	External (E)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C1
76	29/10/06	200	27/9/83	8312	96	105	91,43%	Written off (damaged beyond repair)	Africa	Initial climb (ICL)	Domestic Scheduled Passenger	56411	44465,00	External (E)	6,79	5,35	1,268660744	C5
77	24/12/06	400	15/2/90	6069	0	164	0%	Substantial	Asia	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	Technology (T)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C1
78	1/1/07	400	11/1/89	6470	102	102	100%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	En route (ENR)	Domestic Scheduled Passenger	45371	26725,00	Man (M)	7,01	4,13	1,697698784	C6
79	13/1/07	200	4/2/70	13299	0	4	0%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Landing (LDG)	Cargo	-	-	Unknown (U)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
80	21/2/07	300	18/4/94	4623	0	155	0%	Substantial	Asia	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	37936	23824,00	Technology (T)	8,21	5,15	1,592343855	C1
81	7/3/07	400	5/11/92	5162	21	140	15%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	35207	37260,00	Technology (T)	6,82	7,22	0,944900698	C3
82	5/5/07	800	9/10/06	206	114	114	100%	Written off (damaged beyond repair)	Africa	En route (ENR)	International Scheduled Passenger	2100	734,00	External (E)	10,19	3,56	2,861035422	C6
83	28/6/07	200	28/1/85	8070	5	78	6%	Written off (damaged beyond repair)	Africa	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	Unknown (U)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C3
84	20/8/07	800	14/9/02	1776	0	165	0%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Landing (LDG)	International Scheduled Passenger	13664	-	Technology (T)	7,69	# VALOR!	# VALOR!	C2
85	14/9/07	200	2/3/75	11712	0	109	0%	Written off (damaged beyond repair)	America	Landing (LDG)	Domestic Non Scheduled Passenger	-	-	Technology (T)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
86	1/11/07	200	5/8/81	9446	0	94	0%	Substantial	Asia	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	57823	-	Technology (T)	6,12	# VALOR!	# VALOR!	C1
87	7/11/07	200	9/1/81	9658	0	112	0%	Minor	Africa	Takeoff (TOF)	Domestic Scheduled Passenger	57075	-	Technology (T)	5,91	# VALOR!	# VALOR!	C1
88	30/12/07	300	11/10/94	4759	0	123	0%	Substantial	Europe	Takeoff (TOF)	Int'l Non Scheduled Passenger	-	-	Man (M)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C1
89	10/3/08	400	9/5/89	6781	0	177	0%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	Unknown (U)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
90	24/8/08	200	16/6/80	10148	65	90	72%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Approach (APR)	International Scheduled Passenger	60014	56196,00	Technology (T)	5,91	5,54	1,067940779	C5
91	27/8/08	200	23/5/85	8374	0	130	0%	Substantial	Asia	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	49996	54687,00	Technology (T)	5,97	6,53	0,91422093	C1
92	30/8/08	200	6/7/78	10854	3	3	100%	Written off (damaged beyond repair)	America	En route (ENR)	Ferry/positioning	60117	52091,00	Man (M)	5,54	4,80	1,15407652	C6
93	14/9/08	500	22/8/92	5782	88	88	100%	Written off (damaged beyond repair)	Europe	Approach (APR)	Domestic Scheduled Passenger	44533	35104,00	Man (M)	7,70	6,07	1,268601869	C6
94	1/10/08	300	10/2/88	7431	0	144	0%	Substantial	Europe	Landing (LDG)	International Scheduled Passenger	48514	39949,00	Man (M)	6,53	5,38	1,214398358	C1
95	16/8/08	200	26/5/83	9080	0	54	0%	Substantial	America	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	Unknown (U)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C1
96	10/11/08	800	17/3/08	233	0	172	0%	Written off (damaged beyond repair)	Europe	Landing (LDG)	International Scheduled Passenger	-	-	External (E)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
97	20/12/08	500	31/5/94	5240	0	115	0%	Written off (damaged beyond repair)	America	Takeoff (TOF)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	Man (M)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2

Anexo 1.

98	25/2/09	800	24/1/02	2551	9	135	7%	Written off (damaged beyond repair)	Europe	Approach (APR)	International Scheduled Passenger	-	-	Technology (T)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C3
99	27/4/09	200	4/11/04	1613	0	116	0%	Written off (damaged beyond repair)	America	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	Unknown (U)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
100	29/4/09	200	3/4/81	10106	7	7	100%	Written off (damaged beyond repair)	Africa	En route (ENR)	Ferry/positioning	-	-	Unknown (U)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C6
101	3/6/09	500	1/6/90	6842	0	-	# VALOR!	Substantial	Europe	Approach (APR)	International Scheduled Passenger	-	-	External (E)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C1
102	21/12/09	300	9/5/88	7782	0	108	0%	Substantial	Asia	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	Unknown (U)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C1
103	22/12/09	800	30/11/01	2902	0	154	0%	Written off (damaged beyond repair)	America	Landing (LDG)	International Scheduled Passenger	24610	10402,00	External (E)	8,48	3,58	2,365891175	C2
104	25/1/10	800	18/1/02	2887	90	90	100%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Initial climb (ICL)	International Scheduled Passenger	26459	17823,00	Man (M)	9,16	6,17	1,484542445	C6
105	1/3/10	200	11/2/87	8300	0	52	0%	Written off (damaged beyond repair)	Africa	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	External (E)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
106	13/4/10	300	16/3/90	7227	0	110	0%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	54759	38485,00	External (E)	7,58	5,33	1,422866052	C2
107	22/5/10	800	20/12/07	872	158	166	95%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Landing (LDG)	International Scheduled Passenger	7199	2833,00	Man (M)	8,26	3,25	2,541122485	C5
108	28/7/10	700	24/1/01	3424	0	97	0%	Substantial	Africa	Landing (LDG)	International Scheduled Passenger	-	-	External (E)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C1
109	16/8/10	700	10/1/03	2736	2	131	2%	Written off (damaged beyond repair)	America	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	23485	-	Technology (T)	8,58	# VALOR!	# VALOR!	C3
110	2/11/10	400	8/4/91	7044	0	175	0%	Substantial	Asia	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	49107	28889,00	Technology (T)	6,97	4,10	1,699851154	C1
111	9/12/10	400	25/10/93	6164	0	-	# VALOR!	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Standing (STD)	Unknown	-	-	External (E)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C1
112	10/1/11	200	16/1/81	10794	0	3	0%	Substantial	Africa	Taxi (TXI)	Domestic Non Scheduled Passenger	70094	-	Man (M)	6,49	# VALOR!	# VALOR!	C1
113	17/3/11	200	11/3/82	10446	0	0	0%	Written off (damaged beyond repair)	Africa	Standing (STD)	Unknown	-	-	External (E)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
114	30/7/11	800	6/7/07	1464	0	162	0%	Written off (damaged beyond repair)	America	Landing (LDG)	International Scheduled Passenger	-	-	Man (M)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
115	20/8/11	200	8/5/75	13062	12	15	80%	Written off (damaged beyond repair)	America	Approach (APR)	Domestic Non Scheduled Passenger	-	-	Man (M)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C5
116	10/10/11	400	27/7/93	6553	0	162	0%	Substantial	Asia	Landing (LDG)	International Scheduled Passenger	-	-	Unknown (U)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C1
117	20/12/11	300	5/8/96	5535	0	137	0%	Substantial	Asia	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	31281	21591,00	Man (M)	5,65	3,90	1,44879811	C1
118	20/4/12	200	13/12/84	9847	127	127	100,00%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Approach (APR)	Domestic Scheduled Passenger	46933	37824	External (E)	4,77	3,84	1,240825931	C6
119	1/6/12	400	19/6/90	7902	0	163	0%	Substantial	Asia	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	External (E)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C1
120	14/10/12	800	29/4/09	1245	0	196	0%	Substantial	Asia	Pushback/Towing (PBT)	International Scheduled Passenger	-	-	Unknown (U)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C1
121	11/2/13	300	22/7/92	7399	0	108	0%	Substantial	Asia	Landing (LDG)	International Scheduled Passenger	-	-	Technology (T)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C1
122	16/3/13	500	7/8/97	5619	0	0	0%	Written off (damaged beyond repair)	Europe	Standing (STD)	Unknown	-	-	Man (M)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
123	13/4/13	800	5/2/13	68	0	108	0%	Substantial	Asia	Approach (APR)	Domestic Scheduled Passenger	142	104,00	External (E)	2,09	1,53	1,365384615	C1
124	22/7/13	700	6/10/99	4966	0	150	0%	Substantial	America	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	49536	-	Man (M)	9,98	# VALOR!	# VALOR!	C1
125	17/11/13	500	18/6/90	8429	50	50	100%	Written off (damaged beyond repair)	Europe	Approach (APR)	Domestic Scheduled Passenger	51547	36596,00	Man (M)	6,12	4,34	1,408541917	C6
126	26/1/14	300	8/1/98	5778	0	3	0%	Substantial	America	Landing (LDG)	Cargo	-	-	Technology (T)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C1
127	29/4/14	400	15/6/90	8594	0	2	0%	Substantial	Europe	Landing (LDG)	Cargo	-	-	Technology (T)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C1
128	8/5/14	400	20/1/93	7668	0	132	0%	Substantial	Asia	Landing (LDG)	International Scheduled Passenger	-	-	Man (M)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C1
129	8/6/14	300	7/3/97	6211	0	0	0%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Standing (STD)	Unknown	-	-	External (E)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C2
130	7/11/14	400	10/5/93	7737	0	-	# VALOR!	Substantial	Asia	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	Unknown (U)	# VALOR!	# VALOR!	# VALOR!	C1

Anexo 1.

131	30/12/14	400	21/9/93	7659	0	-	#!VALOR!	Substantial	Asia	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	External (E)	#!VALOR!	#!VALOR!	#!VALOR!	C1
132	10/1/15	400	2/12/96	6518	0	3	0%	Substantial	Africa	Landing (LDG)	Cargo	-	-	External (E)	#!VALOR!	#!VALOR!	#!VALOR!	C1
133	16/6/15	300	9/7/90	8977	0	0	0%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Standing (STD)	International Scheduled Passenger	-	-	External (E)	#!VALOR!	#!VALOR!	#!VALOR!	C2
134	28/8/15	300	23/10/86	10385	0	2	0%	Substantial	Asia	Landing (LDG)	Cargo	54254	38422,00	External (E)	5,22	3,70	1,412055593	C1
135	23/10/15	300	27/4/90	9176	0	139	0%	Substantial	America	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	74018	42389,00	External (E)	8,07	4,62	1,746160561	C1
136	26/10/15	400	23/5/93	8073	0	100	0%	Substantial	Africa	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	57543	-	Technology (T)	7,13	#!VALOR!	#!VALOR!	C1
137	3/11/15	400	10/12/92	8243	0	121	0%	Substantial	Asia	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	51585	46547,00	Man (M)	6,26	5,65	1,108234688	C1
138	22/11/15	300	25/9/90	9057	0	153	0%	Substantial	Asia	Landing (LDG)	International Scheduled Passenger	-	-	Unknown (U)	#!VALOR!	#!VALOR!	#!VALOR!	C1
139	26/11/15	300	1/11/88	9745	0	144	0%	Substantial	America	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	Unknown (U)	#!VALOR!	#!VALOR!	#!VALOR!	C1
140	19/3/16	800	21/12/10	1888	62	62	100%	Written off (damaged beyond repair)	Europe	Approach (APR)	International Scheduled Passenger	21252	9420,00	Technology (T)	11,26	4,99	2,256050955	C6
141	5/8/16	400	30/10/91	8915	0	2	0%	Substantial	Europe	Landing (LDG)	Cargo	-	-	External (E)	#!VALOR!	#!VALOR!	#!VALOR!	C1
142	13/9/16	300	24/9/86	10789	0	3	0%	Substantial	Asia	Landing (LDG)	Cargo	59420	48637,00	Technology (T)	5,51	4,51	1,221703641	C1
143	28/1/17	400	7/2/90	9711	0	4	0%	Substantial	America	Landing (LDG)	Cargo	-	-	External (E)	#!VALOR!	#!VALOR!	#!VALOR!	C1
144	28/3/17	300	27/3/91	9361	0	150	0%	Written off (damaged beyond repair)	America	Landing (LDG)	Domestic Scheduled Passenger	-	-	Unknown (U)	#!VALOR!	#!VALOR!	#!VALOR!	C2
145	18/7/17	300	5/2/88	10603	0	5	0%	Written off (damaged beyond repair)	Asia	Landing (LDG)	Cargo	-	-	Unknown (U)	#!VALOR!	#!VALOR!	#!VALOR!	C1