

2015



# Trabajo Final

## Estudio y Caracterización de Accidentes Aéreos: Excursiones de Pista



**Autor:** Esteban Maddonni Brito  
**Director:** Ing. Alejandro Di Bernardi  
**Coordinador:** Ing. Claudio Rimoldi  
**Fecha:** 07/08/2015



# Índice

<b>Abreviaturas .....</b>	<b>4</b>
<b>1. Introducción .....</b>	<b>5</b>
1.1 Antecedentes .....	5
1.2 Tráfico Aéreo Mundial.....	6
1.3 Accidentes Aéreos - Marco Global .....	9
1.4 Accidentes Aéreos - Fases del Vuelo.....	12
1.5 Excursiones de Pista.....	14
1.6 Objetivos .....	15
1.7 Alcance.....	16
<b>2. Metodología.....</b>	<b>17</b>
2.1 Generalidades.....	17
2.2 Hipótesis y Condiciones de Contorno .....	21
2.3 Factores Contribuyentes al Accidente.....	22
2.4 Posición Final de la Aeronave Accidentada.....	27
2.5 Medidas para reducir las Excursiones de Pista .....	28
<b>3. Resultados .....</b>	<b>29</b>
3.1 Factores involucrados en las Excursiones de Pista - Generalidades .....	30
3.2 Excursiones de Pista asociadas a Condiciones Meteorológicas.....	38
3.2.1 Pista Mojada o Contaminada.....	40
3.2.2 Tailwind y Crosswind .....	46
3.2.3 Caso de Ejemplo: Excursión de Pista de un MD-82 en Estados Unidos.....	55
3.3 Excursiones de Pista asociadas a Decisiones y Acciones Empleadas por la Tripulación .....	58
3.3.1 Aproximaciones Desestabilizadas.....	61
3.3.2 Despegues Abortados .....	70
3.3.3 Uso incorrecto de los dispositivos de frenado de la aeronave.....	77
3.3.4 Caso de Ejemplo: Excursión de Pista de un DC-10-30 en Japón.....	85
3.4 Excursiones de Pista asociadas a fallas mecánicas en los sistemas de la aeronave .....	87
3.4.1 Aquaplaning .....	88
3.4.2 Caso de Ejemplo: Excursión de Pista de un A320-230 en Brasil.....	93

3.5 Las Excursiones de Pista y el Aeropuerto .....	96
3.5.1 Análisis de la posición final de las Aeronaves accidentadas.....	96
3.5.2 Área de Seguridad de Extremo de Pista (RESA) .....	99
3.5.3 El Aeropuerto Urbano .....	112
3.5.4 Alternativa a la RESA: " <i>Engineered Materials Arresting System</i> " (EMAS).....	125
3.5.5 Ranurado Transversal de Pistas ( <i>Runway Grooving</i> ).....	130
3.6 Las Excursiones de Pista y el Avión .....	133
<b>4. Conclusiones.....</b>	<b>138</b>
<b>5. Referencias .....</b>	<b>141</b>
<b>6. Anexos.....</b>	<b>142</b>
6.1 Excursiones de pista 1990-2010.....	142

## Abreviaturas

AC	Advisory Circular
ALAR	Approach and Landing Accident Reduction
ASDA	Distancia de Aceleración-Parada Disponible
CAA	Civil Aviation Authority
CRM	Cockpit Resource Management
EASA	Agencia Europea de Seguridad Aérea
EMAS	Engineered Materials Arresting System
FAA	Federal Aviation Administration
FSF	Flight Safety Foundation
IATA	Asociación Internacional de Transporte Aéreo
IFALPA	Federación Internacional de Asociaciones de Pilotos de Líneas Aéreas
ILS	Sistema de Aterrizaje Instrumental
IMC	Condiciones Meteorológicas Instrumentales
JAA	European Joint Aviation Authorities
LDA	Distancia Disponible de Aterrizaje
MEL	Lista de Equipo Mínimo
MTOW	Peso Máximo de Despegue
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
OR	Overrun
PFD	Primary Flight Display
PKT	Pasajero-Kilómetro Transportado
RESA	Área de Seguridad de Extremo de Pista
ROP	Runway Overrun Protection
ROPS	Runway Overrun Prevention System
ROW	Runway Overrun Warning
RSA	Área de Seguridad de Pista
SOP	Procedimientos de Operación Estándar
TODA	Distancia Disponible para el Despegue
USAF	United States Air Force
VMC	Condiciones Meteorológicas Visuales
VO	Veer-Off
WOW	Weight On Wheels

# 1. Introducción

## 1.1 Antecedentes

A lo largo de las últimas décadas, la demanda del transporte aéreo comercial ha ido incrementando. Con ello, avances tecnológicos en los sistemas de la aeronave, mejoras en los procedimientos empleados por la tripulación o regulaciones más estrictas en cuanto a la seguridad del vuelo se refiere, han resultado en una continua disminución de los accidentes aéreos de la que es vastamente considerada como la forma más segura de viajar. Aun así, los accidentes seguirán ocurriendo y demandarán constantemente análisis e investigaciones asociadas para continuar minimizándolos. Este informe pretende estudiar concretamente un tipo de accidente aéreo denominado excursión de pista, haciendo especial hincapié en las causas que derivan en los mismos.



*Figura 1. Excursión de un B757-200 durante el aterrizaje (España, 14 de Septiembre, 1999).*

## 1.2 Tráfico Aéreo Mundial

El tráfico aéreo global está en constante crecimiento. Año tras año el número de pasajeros y carga transportada aumenta, y es de esperar que lo siga haciendo a corto, mediano y largo plazo. Cuánto, dónde y la rapidez con que lo haga dependerá de varios factores entre los que se destacan los económicos, demográficos y sociales. Ya sea por negocios o por placer, el medio de transporte aéreo es cada vez el más elegido. La Organización Internacional de Aviación Civil (OACI), en un estudio realizado en el año 2012, demuestra cómo durante los últimos años el tráfico mundial de pasajeros ha crecido prácticamente sin cesar y como se espera que lo siga haciendo.

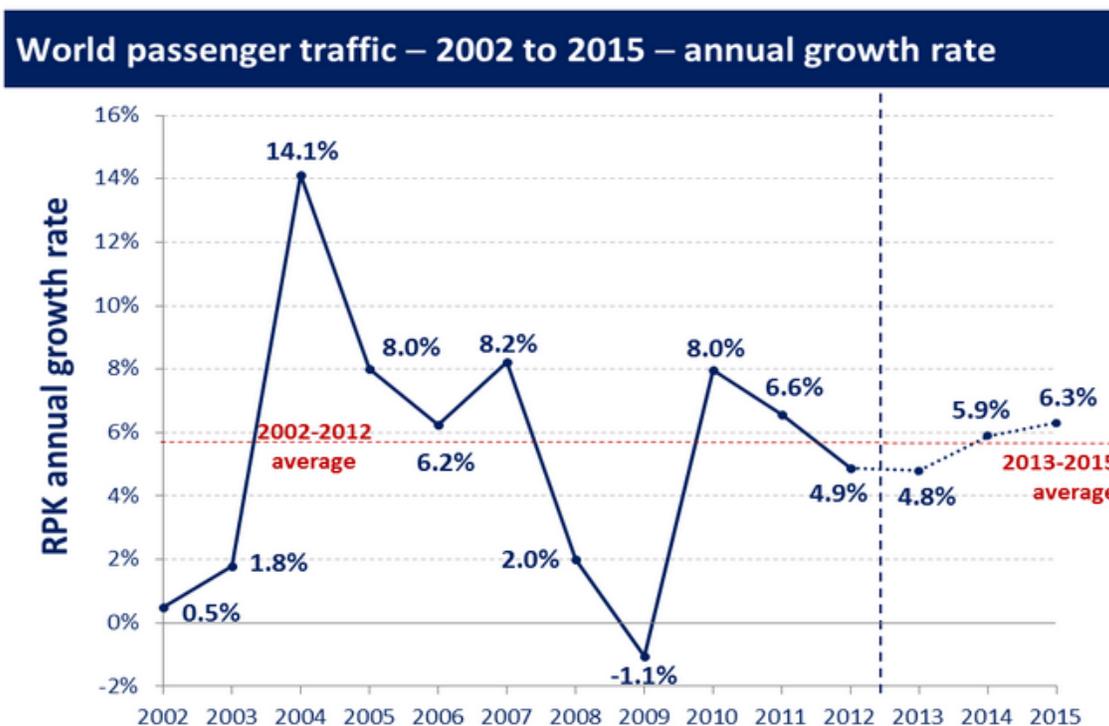


Figura 2. Tasa de crecimiento anual en Pasajeros por Kilómetro Transportado (PKT, o RPK por sus siglas en inglés) (Fuente: OACI 2012).

Datos históricos demuestran como aproximadamente cada 15 años el tráfico aéreo mundial se duplica. Toda vez que ha habido una crisis mundial, como lo han podido ser los atentados del 11 de Septiembre de 2001 o la crisis global financiera de 2008, el tráfico aéreo supo reponerse. Se calcula que, en promedio, para los próximos 20 años el tráfico aéreo mundial crezca a razón de 4,7% anual, según estadísticas del fabricante Airbus.

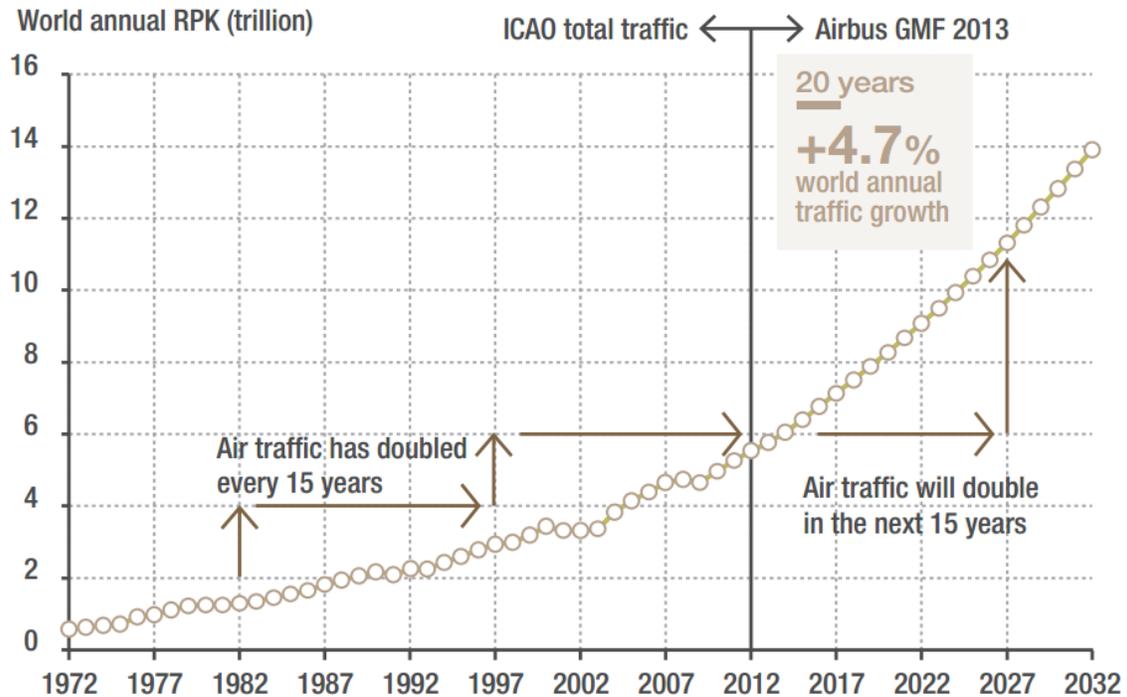


Figura 3. Tasa de crecimiento anual de PKT (Fuente: Airbus 2013)

Adicionalmente, el aumento constante en el transporte aéreo de pasajeros y carga se traduce en un incremento en el número de operaciones, horas voladas y en la cantidad de aeronaves en servicio, a escala global.

La Autoridad de Aviación Civil (CAA) del Reino Unido determinó que durante los años 2002 a 2011, el número de vuelos a nivel mundial se incrementó en un 22%, lo que equivale aproximadamente a un aumento anual del 1,9% (en promedio). Debe contemplarse que para la obtención de dichos resultados fueron tenidas en cuenta aeronaves a reacción y turbohélices cuyo peso máximo de despegue (MTOW) fuera superior a 5.700 kg.

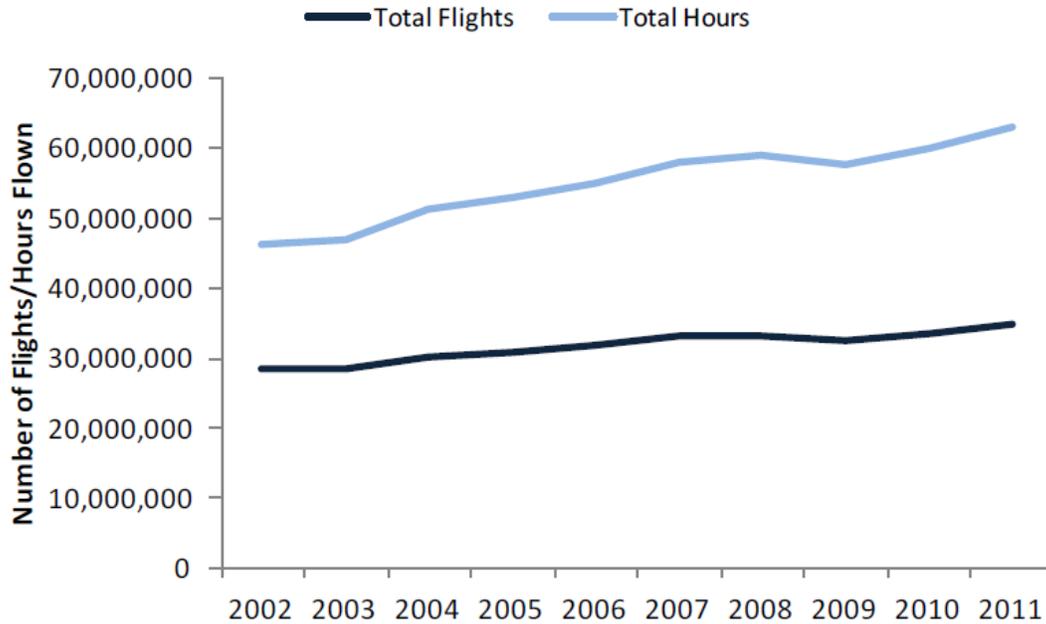


Figura 4. Número de vuelos y horas de vuelo anuales voladas por aeronaves a reacción y turbohélice envueltas en operaciones comerciales (Fuente: Civil Aviation Authority 2013).

En lo que se refiere a la flota aeronáutica global, la misma también presenta un continuo aumento con el transcurso de los años. Aeronaves cuyo peso máximo de diseño es superior a las 60.000 lb (aprox. 27.000 kg) son incorporadas a la flota mundial año tras año según demuestra un estudio realizado por el fabricante Boeing.

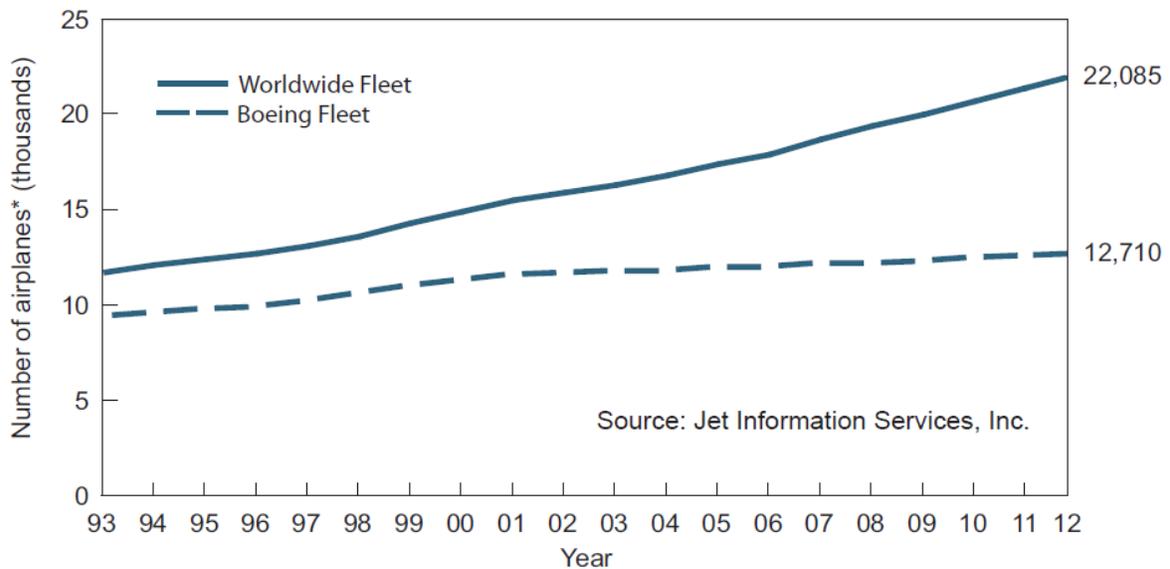


Figura 5. Crecimiento anual de aeronaves a reacción en servicio con un peso mayor a 60.000 lb de peso máximo de diseño (Fuente: Boeing 2012).

Con el incremento exponencial que se estima tendrá el tráfico aéreo global en los años venideros, surge inevitablemente la pregunta acerca de qué ocurrirá con el número de accidentes. Afortunadamente, las estadísticas muestran como en contraste con el aumento del tráfico, el número de siniestros aéreos disminuye año tras año.

### 1.3 Accidentes Aéreos - Marco Global

La demanda del transporte aéreo crece conforme pasan los años. El número total de operaciones, de horas voladas y de aeronaves en servicio está en continuo crecimiento. Cada vez se vuela más y las distintas regulaciones que velan por la seguridad de los mismos, se fortalecen y endurecen. Aun así, incidentes y accidentes aéreos de todo tipo ocurren todos los años.

En primer lugar, para la comprensión de este texto deberá dejarse en claro qué se entiende por accidente aéreo. La OACI, a través del Anexo 13: "Investigación de accidentes e incidentes de aviación", define un accidente aéreo de la siguiente forma:

*"Todo suceso, relacionado con la utilización de una aeronave, que ocurre dentro del período comprendido entre el momento en que una persona entra a bordo de la aeronave, con intención de realizar un vuelo, y el momento en que todas las personas han desembarcado, durante el cual:*

*a) cualquier persona sufre lesiones mortales o graves a consecuencia de:*

- hallarse en la aeronave, o*
- por contacto directo con cualquier parte de la aeronave, incluso las partes que se hayan desprendido de la aeronave, o*
- por explosión directa al chorro de un reactor,*

*b) la aeronave sufre daños o roturas estructurales que:*

- afectan adversamente su resistencias estructural, su performance o sus características de vuelo; y*
- que normalmente exigen una reparación importante o el recambio del componente afectado, o*

*c) la aeronave desaparece o es totalmente inaccesible."*

Por lo tanto, todo accidente aéreo mencionado y estudiado en este informe se corresponderá con la definición anterior.

A lo largo de las últimas décadas, se ha observado una disminución importante en el número de accidentes aéreos por año. Aun cuando el tráfico aéreo mundial crece anualmente, los accidentes cada vez son menos y de menores consecuencias. Tal es así que 2013 ha sido el año más seguro de la historia de la aviación con una tasa de accidentes de 2,8 por cada millón de despegues (*OACI, 2013*).

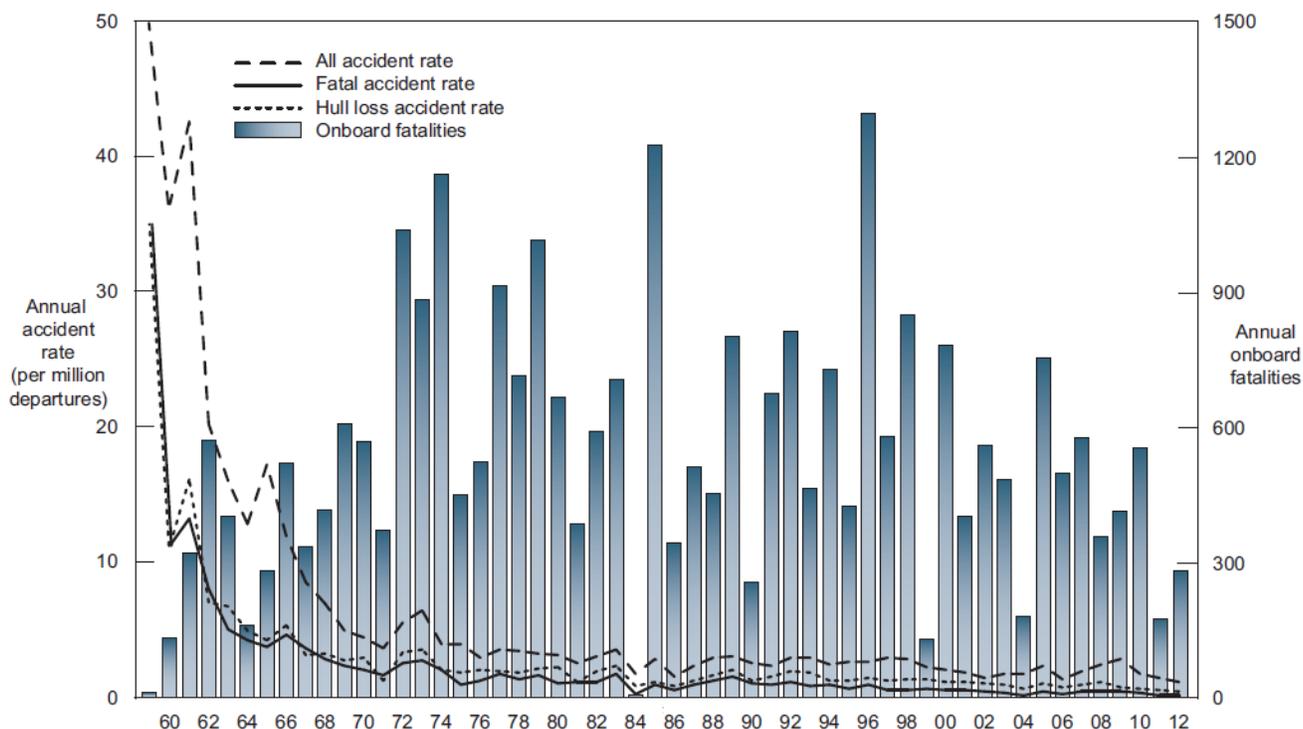


Figura 6. Tasas anuales de accidentes aéreos y pasajeros fallecidos (Fuente: Boeing 2012).

De forma tal de minimizar el número de siniestros aéreos, existe normativa internacional que regula la actividad aeronáutica en todos sus aspectos y establece las pautas a seguir para una operación confiable y segura. Ahora bien, más allá de esto diversas zonas en el globo presentan un porcentaje de accidentes superior a otras, siendo en algunos casos muy marcada esta diferencia. Los países más pobres, según el producto bruto interno (PBI) o el índice de derechos humanos (IDH), son casualmente aquellos con el mayor número de incidentes. Sin hacer referencia a posibles negligencias por parte de los distintos gobiernos en cuanto a esta actividad se refiere, aplicar las reglamentaciones vigentes suele traducirse

en gastos monetarios. Por ello, es de esperar que en lugares donde los recursos escaseen las mismas se empleen parcialmente o directamente no se apliquen.



*Figura 7. Proporción de accidentes fatales en vuelos comerciales por cada 10 millones de vuelos, 2003-2012 (Fuente: EASA 2012).*

En la figura 7 se puede apreciar como el continente africano presenta el mayor número de accidentes aéreos fatales en cuanto a vuelos comerciales se refiere. Entre las distintas causas atribuibles se pueden encontrar falencias en las distintas instalaciones aeronáuticas, mantenimiento inadecuado o pobre entrenamiento a las tripulaciones. En otras palabras, la no cumplimentación o falta de conocimiento acerca de la existencia de regulaciones internacionales. Hay que destacar que si bien la proporción de siniestros fatales es la más elevada del planeta, menos del 5% del tráfico aéreo mundial opera en África. En contraste, Norteamérica y Europa Occidental presentan la menor proporción de accidentes con un tráfico aéreo superior al 50%.

## 1.4 Accidentes Aéreos - Fases del Vuelo

Todo vuelo, independientemente de la finalidad del mismo, está compuesto por distintas fases: Ascenso y descenso de pasajeros, encendido de motores, remolcado, rodaje, despegue, ascenso, crucero, descenso, aproximación y aterrizaje. Si bien las fases de aterrizaje y despegue suponen aproximadamente un 2% del tiempo de vuelo, un estudio realizado por Boeing a lo largo de los últimos 50 años demostró que acaparan más del 30% de los accidentes aéreos. Estos suelen traducirse en numerosas pérdidas humanas, ya sea de pasajeros o transeúntes ajenos a la aeronave, así como también masivas pérdidas materiales.

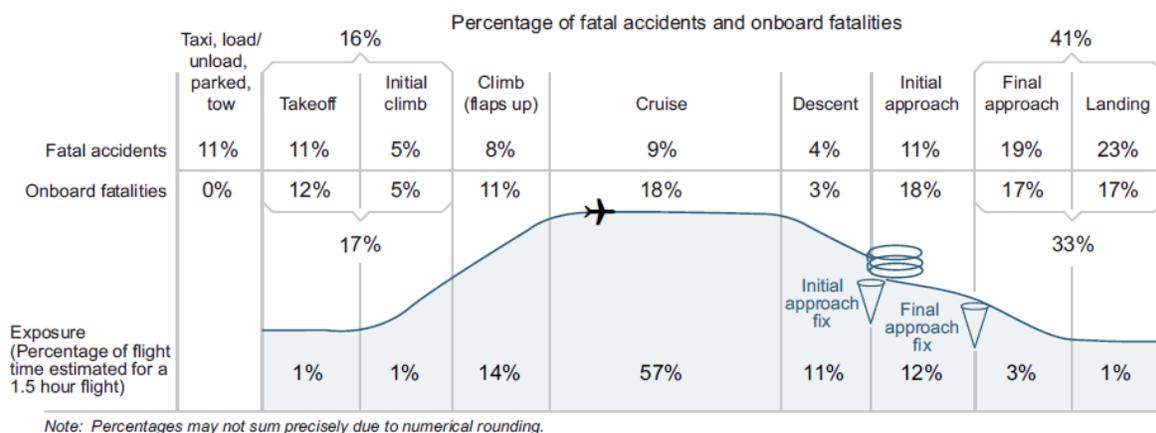
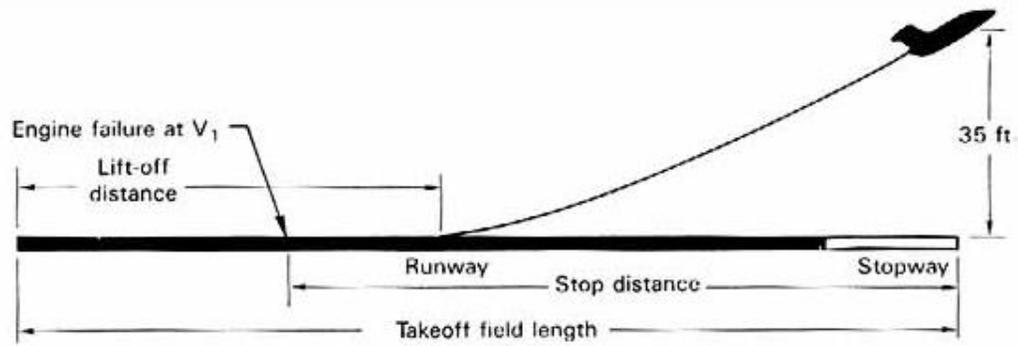


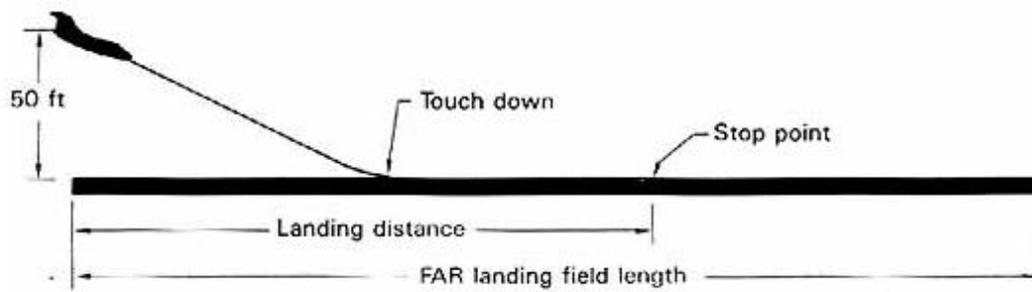
Figura 8. Porcentaje de accidentes fatales. (Fuente: Boeing 2012).

Dados entonces los elevados porcentajes de siniestros ocurridos durante las fases de despegue y aterrizaje, surge la necesidad de analizar por qué los mismos tienen lugar y qué medidas adoptar para minimizarlos. Antes de continuar, deberá explicarse qué se entiende por dichas fases de vuelo. Nuevamente, la OACI define al despegue (TOF) y aterrizaje (LDG) de la siguiente forma:

- Despegue: Desde la aplicación de la potencia de despegue, pasando por la rotación de la aeronave hasta una altitud de 35 pies por encima de la elevación de la pista.



- Aterrizaje: Desde el comienzo del "Flare" (Período de transición de la aeronave desde una actitud nariz abajo a una de nariz arriba, segundos antes de realizar el toque en pista) hasta que la aeronave libera la pista de aterrizaje, se detiene en la pista o cuando se aplica potencia de despegue en caso de un aterrizaje tipo "touch and go".



De los accidentes ocurridos durante el aterrizaje y el despegue, más del 95% se atribuyen a excursiones de pista. Los restantes, son mayoritariamente debidos a incursiones indebidas en la misma por parte de vehículos, aeronaves o personas. Entonces, dado que prácticamente todos los siniestros acaecidos durante estas fases de vuelo son excursiones de pista, se decide tanto estudiarlas como caracterizarlas.

## 1.5 Excursiones de Pista

Una excursión de pista ocurre cuando una aeronave se sale por los lados, o excede su pista designada tanto en el aterrizaje como en el despegue, resultando en un incidente o accidente aéreo. Se tiene entonces dos tipos distintos de excursión de pista:

- **Veer - off (VO):** La aeronave sale por uno de los laterales de la pista.

Dirección de Despegue/Aterrizaje 



- **Overrun (OR):** La aeronave se sale por el final de la pista.

Dirección de Despegue/Aterrizaje 



Nótese que la definición de Excursión de Pista puede variar entre distintos organismos reguladores o agencias de seguridad aérea.

Constantemente se producen excursiones de pista, aunque por lo general no resultan en un accidente aéreo sino en un incidente, es decir, la aeronave sufre daños mínimos y/o no hay lesiones de gravedad entre las personas afectadas. Aun así, las excursiones de pista suponen el accidente aéreo más repetido. Entre 1995 y 2008, casi un 30 % de los accidentes aéreos fueron excursiones de pista (*Flight Safety Foundation - FSF, 2009*). Cabe destacar que si bien es el accidente con mayor reiteración, no necesariamente se traduce en aquel con mayor número de pérdidas humanas. Esto puede atribuirse a diversos factores entre los que se puede destacar las reducidas velocidades de impacto o la cercanía a las inmediaciones del aeropuerto (proximidad a los servicios de extinción de incendios - SEI).

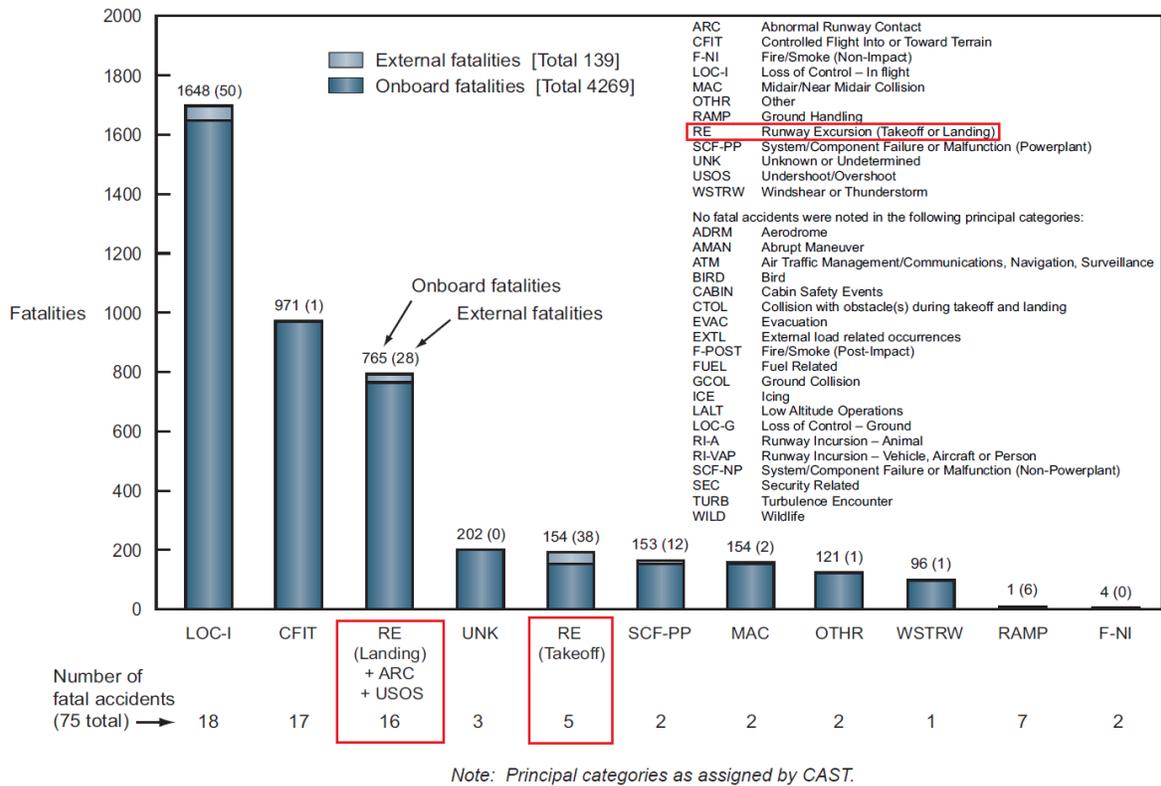


Figura 9. Accidentes Fatales - Flota Comercial Global - 2003-2012 (Fuente: Boeing 2012).

Este informe pretende analizar en detalle las razones que conllevan a la ocurrencia de este tipo de siniestros aéreos. Se busca conseguir determinar aquellas causas que sean las más recurrentes para así poder promover acciones correctivas para minimizarlas.

## 1.6 Objetivos

Los objetivos del presente informe se resumen a continuación:

- Estudiar todas aquellas excursiones de pista que hayan resultado en un accidente aéreo, de acuerdo a la definición establecida por la Organización de Aviación Civil Aeronáutica (OACI) en su Anexo 13.
- Determinar las diversas causas que contribuyen a que se produzcan este tipo de accidentes, describiendo cómo afectan a la seguridad del vuelo y qué soluciones se pueden emplear para minimizar el riesgo de un siniestro.

- Establecer la posición final de la aeronave accidentada para poder determinar aquellas zonas del aeródromo mayormente afectadas y evaluar cómo este tipo de accidentes repercute en los denominados aeropuertos urbanos.

## 1.7 Alcance

Se identificarán las excursiones de pista, a nivel global, que involucren aeronaves comerciales en vuelos regulares o no regulares y aeronaves militares. Solo se estudiarán aquellas excursiones que hayan resultado en un accidente aéreo según la definición establecida por OACI. El período a abarcar será de 21 años, desde el año 1990 hasta el 2010 inclusive. Las aeronaves estudiadas poseen un MTOW superior a 5.700 kg y no se discrimina el fabricante.

En la medida de lo posible, se emplazarán todas las aeronaves en su posición final con respecto a la pista. Se llevará a cabo un estudio en detalle del Área de Seguridad de Extremo de Pista (RESA, por sus siglas en inglés) y su efecto en minimizar las consecuencias de las excursiones de pista, principalmente las del tipo *Overrun*.

## 2. Metodología

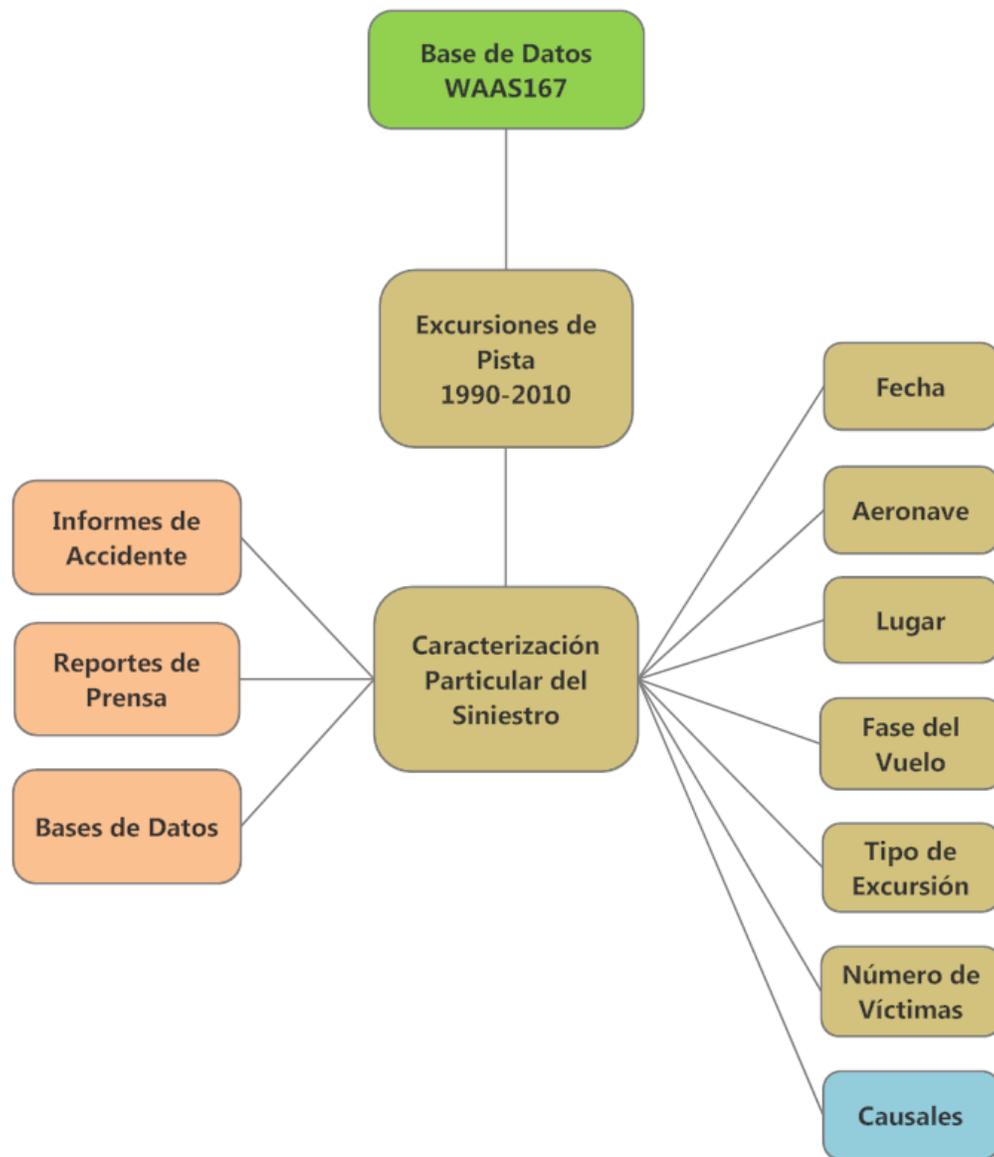
### 2.1 Generalidades

Las excursiones de pista analizadas en este informe involucran aeronaves envueltas en el tráfico aéreo comercial y militar. Se extraen del "*World Aircraft Accident Summary*" (WAAS), edición número 167, abarcando un período de 21 años, desde 1990 hasta 2010 inclusive. Se trata de una base de datos realizada y publicada con el respaldo de la Autoridad de Aviación Civil del Reino Unido (CAA) y que, a día de hoy, agrupa todos los accidentes (de acuerdo a la definición establecida por el Anexo 13 de OACI) desde el año 1990 hasta comienzos del 2012. Dichos siniestros involucran tanto a turboreactores como a turbohélices en aeronaves de ala fija y aeronaves propulsadas por motores alternativos que posean 10 o más asientos. Utilizando este índice, se estudiarán uno a uno cada accidente determinando y analizando diversos aspectos de los mismos. En el Anexo 6.1 se presenta una lista completa y resumida de todos los siniestros analizados.



*Figura 10. Excursión de un B737-700 durante el aterrizaje (Estados Unidos, 10 de Diciembre, 2005).*

Partiendo de la base de datos elegida para llevar a cabo este estudio, se elabora una lista de todas las excursiones de pista ocurridas durante el período a evaluar. Las mismas involucran aeronaves comerciales en vuelos tanto regulares como no regulares, y aeronaves militares, con un MTOW superior a 5.700 kg. Una vez se han determinado estas excursiones de pista, se procede a analizar particularmente cada una de ellas, buscando caracterizarlas individualmente. Se distinguirán por fecha, aeronave, lugar del siniestro, fase de vuelo, tipo de excursión, número de víctimas y factores contribuyentes al accidente. Toda esta información se recopilará de diversas fuentes, entre las cuales se encuentran los informes de accidente, reportes de prensa, datos disponibles en la web o el propio WAAS, donde la mayoría de los accidentes constan de una breve descripción del mismo.



*Figura 11. Metodología empleada en el informe para la caracterización de las Excursiones de Pista.*

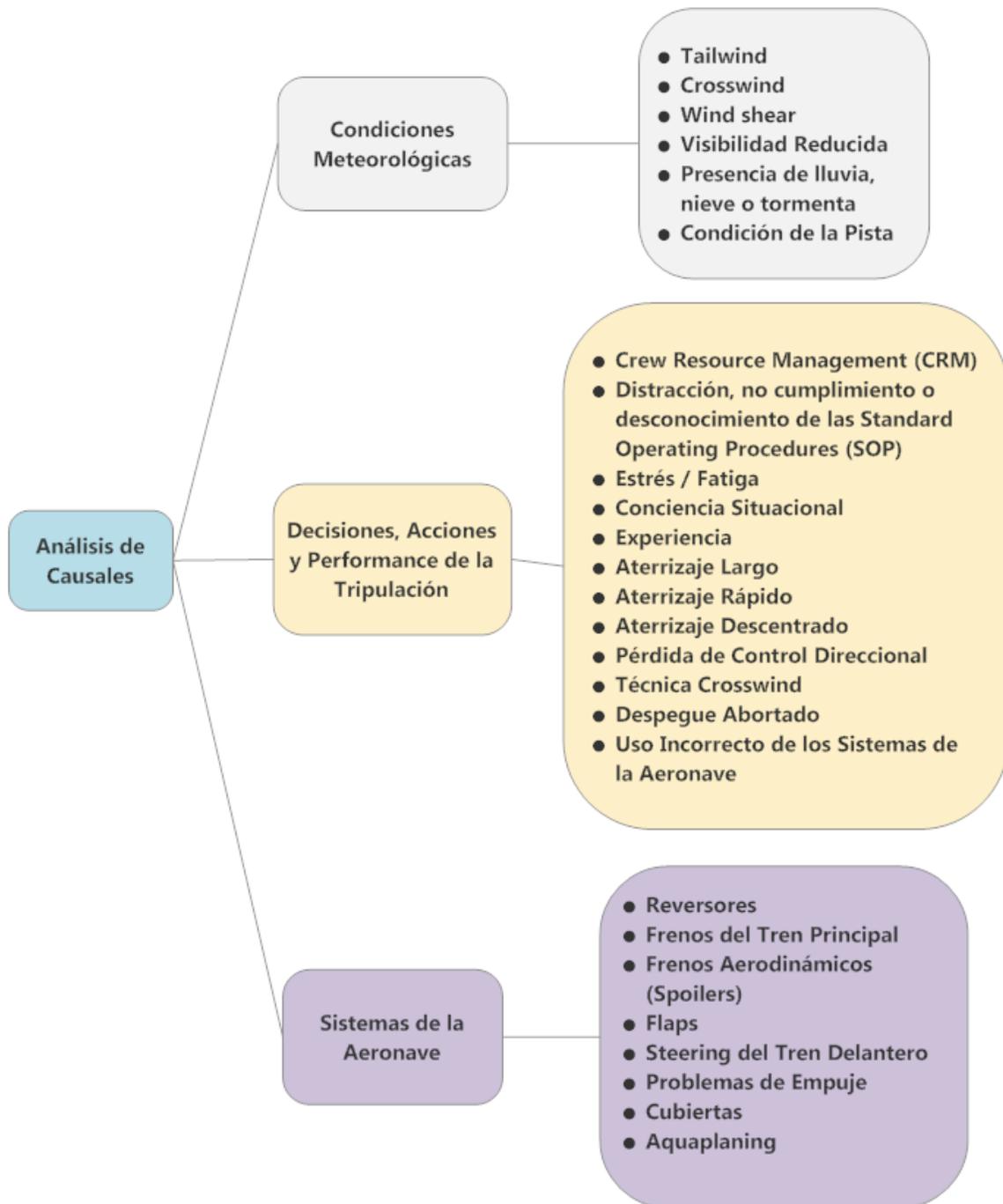
Entre toda la información recopilada, se hará especial hincapié en las causas o factores que provocaron cada excursión de pista. Estos factores responsables de dicho tipo de accidentes se agruparon en tres categorías distintas:

1. Meteorología: Todo aquel factor que se atribuya a las condiciones climatológicas reinantes en el aeródromo al momento de realizar el despegue o aterrizaje y que contribuyese activamente a la ocurrencia del siniestro.
2. Factores Humanos: Todo aquel factor que se atribuya a las acciones, decisiones, performance y técnicas empleadas por la tripulación y que tuviesen implicancia directa en la ocurrencia del accidente.
3. Sistemas de la aeronave: Todo aquel factor que se atribuya a las fallas intrínsecas de los distintos sistemas y dispositivos de la aeronave empleados por la tripulación durante las fases de despegue y aterrizaje.

Estos grandes grupos a su vez se dividen en diversas subcategorías como se puede ver en la figura 12 y que posteriormente se detallarán en el apartado 2.3. Cabe destacar que un accidente suele tener varias causas asociadas a la ocurrencia del mismo, por lo que un mismo siniestro puede caer dentro de varias de estas categorías. Asimismo, debe tenerse en cuenta que si bien se determinan todos los factores asociados a cada accidente, en ningún momento se evalúa el grado de "responsabilidad" de los mismos. En otras palabras, no se cuantifica la incidencia de cada uno de ellos a provocar el accidente.

Otro dato relevante a extraer de cada siniestro se corresponde con la posición final de la aeronave tras su excursión. Esto permitirá evaluar la importancia de algunas superficies asociadas a la pista y los riesgos que suponen este tipo de accidentes, tanto para la aeronave y pasajeros en cuestión como para las zonas circundantes al aeródromo, principalmente en aquellas donde haya núcleos urbanos. Las hipótesis que se tendrán en cuenta se explicarán en el apartado 2.4.

Por último, se menciona que en la medida de lo posible se recopilará una base de datos fotográfica para todos los accidentes analizados.



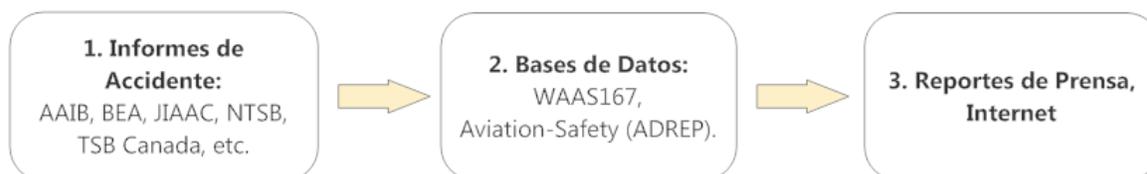
*Figura 12. Factores Contribuyentes a las excursiones de pista estudiadas.*

## 2.2 Hipótesis y Condiciones de Contorno

Para la realización de este estudio se debieron adoptar una serie de hipótesis y condiciones de contorno. En este apartado se mencionan aquellas de índole general y que abarcan al informe por completo.

En primer lugar, dado que esta caracterización de excursiones de pista está basada en un índice establecido por el WAAS, debe mencionarse que es posible que en el período que abarca el estudio podrían haber acontecido otras excursiones no mencionadas aquí. Asimismo, existen diversos siniestros aéreos ocurridos durante este período, al margen de los que caen dentro del tipo "Excursiones de Pista", según el WAAS, que bien podrían ser considerados como excursiones también. Dichos accidentes, este índice los agrupa bajo otros tipos de accidentes aéreos (Pérdida de Control, Aterrizaje previo a alcanzar la pista, etc.), por lo que no serán tenidos en cuenta a lo largo de este informe.

Para el análisis particular de cada excursión de pista se acudió a diversas fuentes. Si bien se estableció un orden de prioridad en las mismas basándose en la posible veracidad de la información publicada, en este informe se utilizan tanto fuentes oficiales como no oficiales. A efectos de la realización de este estudio, se supondrán fehacientes todos los datos e información utilizada.



*Figura 13. Orden de Prioridad establecida en las fuentes de información.*

Como ya se ha explicado en los apartados anteriores, las excursiones de pista se dividen en dos tipos: *Overrun* y *Veer-Off*. Existen numerosas excursiones donde la tripulación, tras percatarse de que la aeronave no lograría frenar antes del final de pista, decide abandonar la misma por uno de sus laterales, de forma tal de evitar impactar con posibles edificaciones como el Localizador. A este tipo de excursiones se las considerará a lo largo del estudio como *Overrun*.

Existen otra serie de hipótesis, particulares para cada caso, adoptadas a lo largo de este informe que se explicarán en los apartados venideros según corresponda.

## 2.3 Factores Contribuyentes al Accidente

Una vez identificadas todas las excursiones de pista acontecidas durante el período a abarcar, se comienza con un análisis individual de cada una de ellas. Entre otras cosas, se buscará determinar todos los factores que provocaron o contribuyeron a la ocurrencia de estos accidentes. Si bien se analizan todos los causales que provocaron un accidente en concreto, hay que destacar que no se evalúa el grado de afectación de cada uno de ellos. Como ya se ha mencionado en el apartado 2.1, los factores contribuyentes a cada accidente se dividen en tres grandes grupos: Meteorológicos, Factores Humanos y Sistemas de la Aeronave. A continuación se realizará una breve descripción de cada uno de ellos.

### A) Meteorología

El primer grupo de causales abarca todos aquellos relacionados con las condiciones climatológicas reinantes en la pista y cercanías al momento del accidente. Entre ellas se encuentran:

- *Crosswind* (Viento Cruzado): Viento con una componente perpendicular a la trayectoria de vuelo seguida por la aeronave y de magnitud considerable.
- *Tailwind* (Viento de Cola): Viento cuya componente y sentido coincide con la trayectoria de vuelo seguida por la aeronave.
- *Wind Shear*: El *Wind Shear* o cizalladura del viento suele ser provocado por micro ráfagas generadas por corrientes de aire descendente que golpean la tierra y se expanden rápidamente en todas las direcciones. Esto provoca cambios impredecibles en la velocidad y la dirección del viento que dificultan el control de las aeronaves, con vientos de cara, de cola, y giros hacia arriba y abajo, todo en una rápida sucesión.
- *Visibilidad Reducida*.
- *Presencia de lluvia, nieve o tormenta*.
- *Condición de la pista* (asociado con la posible presencia de agua, nieve o hielo sobre la misma).

Cabe destacar que uno o más factores climatológicos pueden estar implicados en cada accidente aéreo, en conjunto con otros correspondientes a los demás grupos.



*Figura 14. Limpieza y medición del coeficiente de fricción en una de las pistas del Aeropuerto de Gatwick en Londres, Reino Unido.*

### **B) Factores Humanos**

**“A fin de cuentas, el único poder al que debiera aspirar el hombre es el que ejerce sobre sí mismo”- Elie Wiesel**

El segundo grupo o categoría asociada con las causas responsables de los accidentes se centra en los factores humanos. Abarca todo lo que tenga que ver con la actuación del ser humano, así también como las relaciones entre los mismos. Entre dichos factores se encuentran:

- *Crew Resource Management (CRM)*: Uso efectivo de todos los recursos disponibles por la tripulación para asegurar una operación segura y eficiente, minimizando los errores, evitando el estrés e incrementando la eficiencia. Hace hincapié en la comunicación entre el personal de cabina, liderazgo y toma de decisiones a bordo.

- *Distracción durante el vuelo, desconocimiento o no cumplimiento de las Standard Operating Procedures (SOP).*
- *Estrés o Fatiga en la tripulación.*
- *Conciencia Situacional:* Es la exacta percepción de lo que sucede con uno mismo, con la tripulación, la aeronave y el medio ambiente, en tiempo presente y futuro cercano. En otras palabras, la persona sabe lo que ocurre para poder figurarse lo que debe hacer.
- *Experiencia:* Falta de experiencia en la aeronave en cuestión, en los procedimientos a emplear o desconocimiento sobre el aeródromo y su entorno.
- *Aterrizaje Largo:* Aterrizaje realizado por una aeronave más allá de la zona de visado de la pista. Cabe mencionar que dicha zona depende de la pista en cuestión.
- *Aterrizaje Rápido:* Aterrizaje realizado por una aeronave cuya  $V_{ref}$  (Velocidad de referencia para el aterrizaje) sea un 10% mayor a la estipulada por el fabricante.
- *Aterrizaje Fuerte y/o Rebote en Pista.*
- *Aterrizaje Descentrado:* La aeronave aterriza a un lado del eje central de pista.
- *Pérdida de Control Direccional de la Aeronave.*
- *Técnica Crosswind:* Técnica para corregir deriva por vientos laterales mal empleada por parte de la tripulación (ya sea por un error en la ejecución o por desconocimiento).
- *Despegue Abortado:* Decisión adoptada por parte de la tripulación de abortar el despegue durante la carrera de despegue, ya sea antes o después de la velocidad de decisión  $V1$ .

Nuevamente, debe destacarse que uno o más factores humanos pueden estar implicados en cada accidente aéreo, en conjunto con otras causas correspondientes a otros grupos.



Figura 15. Excursión de un B737-800 durante el aterrizaje (India, 22 de Mayo, 2010).

### C) Sistemas de la Aeronave

El tercer y último grupo o categoría asociada con las causas responsables de los accidentes se centra en los sistemas de la aeronave. Entre ellos se encuentran:

- *Reversores*: En una aeronave, proveen una forma importante de aumentar la tasa de desaceleración ya sea durante las etapas iniciales de la carrera de aterrizaje o luego de un despegue abortado a gran velocidad.
- *Frenos del Tren de Aterrizaje*: Incluye los sistemas de frenado automáticos (*Autobrake*) y anti deslizamiento (*Antiskid*).
- *Flaps*: Son dispositivos hipersustentadores que consisten en superficies montadas sobre el borde de fuga de las alas de la aeronave. Al desplegarse, aumentan la curvatura y, en la mayoría de los casos, la cuerda y superficie alar resultando en un incremento tanto de la sustentación como de la resistencia, y de una reducción en la velocidad de entrada en pérdida. Estos cambios permiten a la aeronave volar a velocidades más bajas, mejorando la performance de la misma durante el despegue y aterrizaje.

- *Steering del Tren delantero:* Es el sistema que permite direccionar la aeronave en tierra, a bajas velocidades, moviendo la rueda del tren delantero.
- *Problemas de Empuje.*
- *Falla de las Cubiertas del Tren de Aterrizaje.*
- *Aquaplaning:* El Aquaplaning o Hidroplaneo es una condición donde agua estancada, aguanieve o nieve ocasiona que las ruedas en movimiento de una aeronave pierdan contacto con la superficie por la que se desplaza. Esto provoca que la acción de frenado sobre las ruedas no sea efectiva a la hora de reducir la velocidad en tierra de la aeronave.



*Figura 16. Sistemas de Frenado de la Aeronave.*

## 2.4 Posición Final de la Aeronave Accidentada

Así como es importante determinar las causas que conllevan a la ocurrencia del accidente, también se debe estudiar y analizar el recorrido que realiza la aeronave en su excursión prestando particular atención a la ubicación final de la misma. Esta información permitirá un diseño más seguro de la infraestructura aeroportuaria de forma tal de minimizar los riesgos que acarrea una excursión de pista, ya sea para los pasajeros, la aeronave o terceras personas.

Dado que las pistas involucradas en los accidentes difieren una de otra, se debe adoptar un criterio para poder ubicar a las aeronaves en relación a la misma. Se utilizará una pista normalizada, donde las excursiones se emplazarán de la siguiente forma:

- *Veer - off*: Relativas al comienzo de pista y al eje central de la misma.
- *Overrun*: Relativas al final de pista y la prolongación del eje de la misma.

De este análisis se espera poder determinar aquellas zonas del aeropuerto mayormente implicadas durante una excursión de pista y qué impacto tienen las mismas en un aeropuerto urbano, donde la cercanía a la población circundante supone un problema.



*Figura 17. Excursión de un A320-230 durante el aterrizaje (Brasil, 17 de Julio, 2007).*

## 2.5 Medidas para reducir las Excursiones de Pista

Para finalizar, se evalúan medidas a adoptar por parte de los aeródromos y las aeronaves de forma tal de intentar reducir el número de excursiones de pista o, en caso de ocurrencia de la misma, tratar de minimizar los riesgos que puedan acarrear para las personas a bordo y/o terceros. En otras palabras, sistemas de protección activos y pasivos. Se estudiará concretamente el impacto de estos sistemas de seguridad, destacando cómo funcionan y de qué manera abordan esta problemática. Entre ellos se encuentran:

- *Runway End Safety Area (RESA)*
- *Engineered Materials Arrestor Systems (EMAS)*
- *Smartlanding y Runway Overrun Prevention System (ROPS)*

Mientras que la RESA y el EMAS son sistemas de protección pasivos ubicados en el aeródromo, el ROPS es un sistema activo localizado dentro de la aeronave que busca evitar que se produzca la excursión de pista. En el apartado 3.5 se explican en detalle dichos sistemas.



*Figura 18. Excursión de un B747-400 durante el aterrizaje con presencia de EMAS al final de pista. (Estados Unidos, 22 de Enero, 2005).*

### 3. Resultados

Durante los años 1990 a 2010 inclusive, utilizando el WAAS167, se encontraron un total de 630 excursiones de pista resultantes en un accidente aéreo. Se corresponden con aeronaves comerciales involucradas en vuelos regulares o no regulares y aeronaves militares, en ambos casos con un MTOW superior a los 5700kg. De la totalidad de las excursiones de pista analizadas, en más de 200 se tuvo acceso al informe de accidente emitido por la agencia encargada de estudiar y determinar las causas del mismo. Asimismo, se realizó una recopilación de más de 2000 fotografías de los siniestros. En el Anexo 6.1 se presenta una lista resumida de todos los accidentes analizados.



*Figura 19. Excursiones de Pista 1990-2010.*

### 3.1 Factores involucrados en las Excursiones de Pista - Generalidades

Las 630 excursiones de pista se reparten por año según se muestra en la figura 20. El año con mayor número de siniestros corresponde a 1998, con un total de 42 excursiones de pista. Nótese como en los años 2001 y 2002 existe un marcado descenso en el número de accidentes, probablemente atribuible al impacto que tuvo sobre el tráfico aéreo mundial los atentados del 11 de Septiembre de 2001 en Estados Unidos. El dato a tener en cuenta: aproximadamente cada 12 días, en algún lugar del planeta se produce un accidente de esta índole. Si bien la tendencia mundial marca una disminución en el número de accidentes aéreos por año, las excursiones de pista no siguen dicha propensión. En los 21 años que abarca el estudio, se encontró una ligera tendencia incremental en el número de excursiones de pista por año, en contraste con lo que sucede con los demás tipos de accidentes aéreos que están en disminución. Es sabido que el número de operaciones a nivel mundial está en constante aumento, traduciéndose en un mayor número de despegues y aterrizajes. Por consiguiente, la probabilidad de producirse una excursión de pista incrementa. A esto habría que sumarle el hecho de que no fue hasta hace poco más de una década que se empezó a estudiar y tratar con profundidad esta problemática de las excursiones de pista.

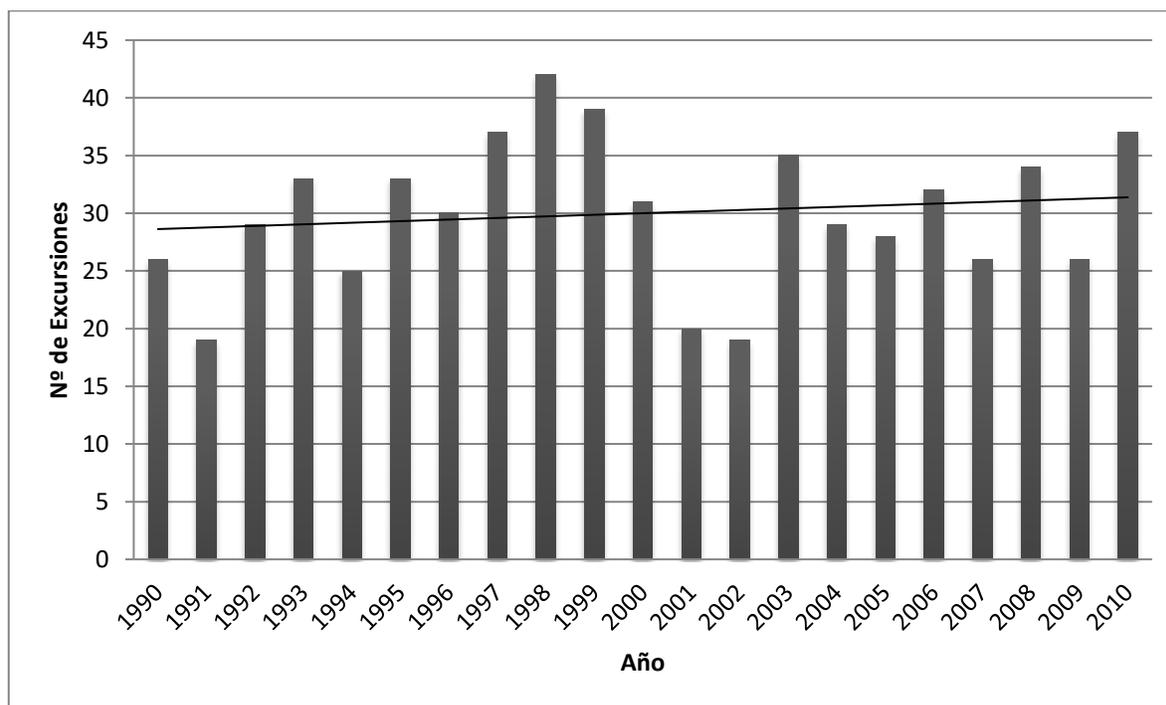


Figura 20. Excursiones de Pista por año, 1990-2010. (Fuente: Elaboración Propia).

Por su parte, la figura 21 divide la totalidad de las excursiones estudiadas por tipo, es decir, ya fuera un *Overrun* o un *Veer-Off*.

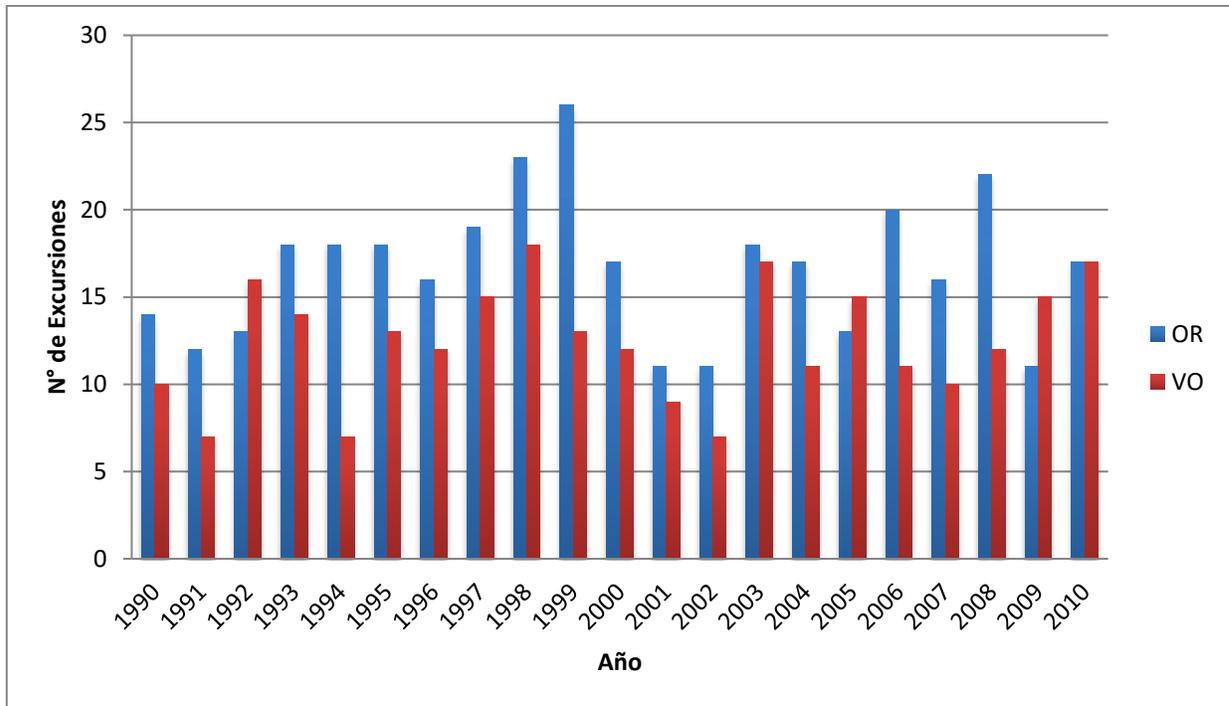


Figura 21. Excursiones de Pista por año y tipo, 1990-2010. (Fuente: Elaboración Propia).

En porcentaje, más de la mitad de las excursiones de pista fueron del tipo *Overrun* como se observa en la siguiente figura.

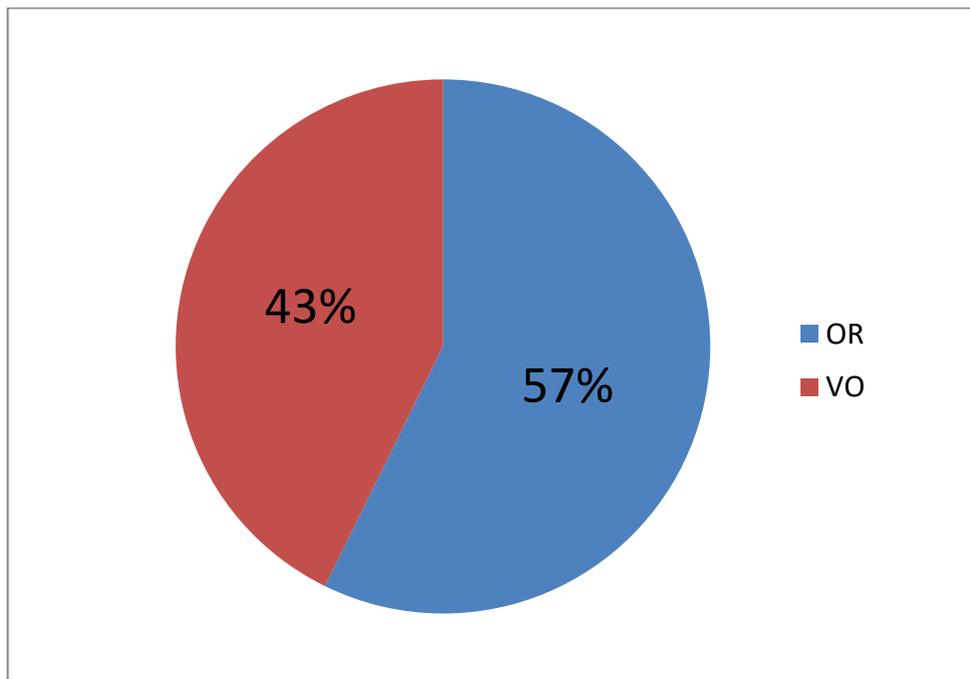
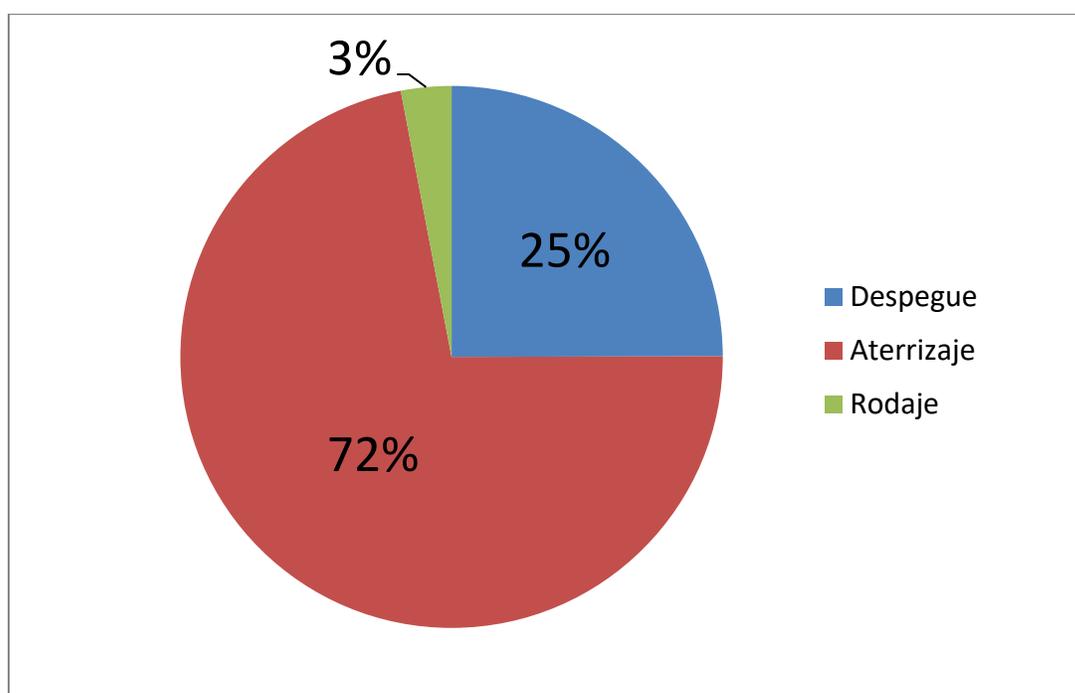


Figura 22. Excursiones de Pista por tipo, 1990-2010.(Fuente: Elaboración Propia).

En cuanto a la fase de vuelo, se encontró que la gran mayoría de las excursiones de pista ocurren durante el aterrizaje. Esto no debe sorprender dado que las excursiones de pista, y particularmente aquellas ocurridas durante la fase de aterrizaje, son el accidente aéreo más recurrente según determinaron varios organismos como la IATA. El aterrizaje, a diferencia del despegue o de otras fases de vuelo, involucra el control estricto de diversas variables más, con un consecuente aumento en la carga de trabajo de la tripulación, convirtiéndola así en la más propensa a sufrir excursiones de pista. Ya sea en el control de la velocidad de vuelo, la tasa de descenso, la configuración de la aeronave o el control direccional, una pequeña variación en alguna de ellas puede provocar un mal aterrizaje. Asimismo cabe recordar que la calidad del aterrizaje depende mayormente de cuán satisfactoria sea la aproximación. Por otro lado, se encontraron también un número minoritario de excursiones acaecidas durante las fases de rodaje llevadas a cabo por la aeronave en pista.



*Figura 23. Excursiones de Pista por fase de vuelo, 1990-2010. (Fuente: Elaboración Propia).*

En algunos casos, hablar de accidentes aéreos se traduce lamentablemente en la pérdida de vidas humanas. Entre los años 1990 y 2010 hubo un total de 1673 víctimas fatales, repartidas en 78 excursiones de pista. En otras palabras, un 12% de todas las excursiones de pista estudiadas provocaron pérdidas humanas, ya fueran pasajeros o tripulantes de la aeronave o personas ajenas a la misma. La figura 24 separa por año las excursiones de pista fatales de aquellas no fatales.

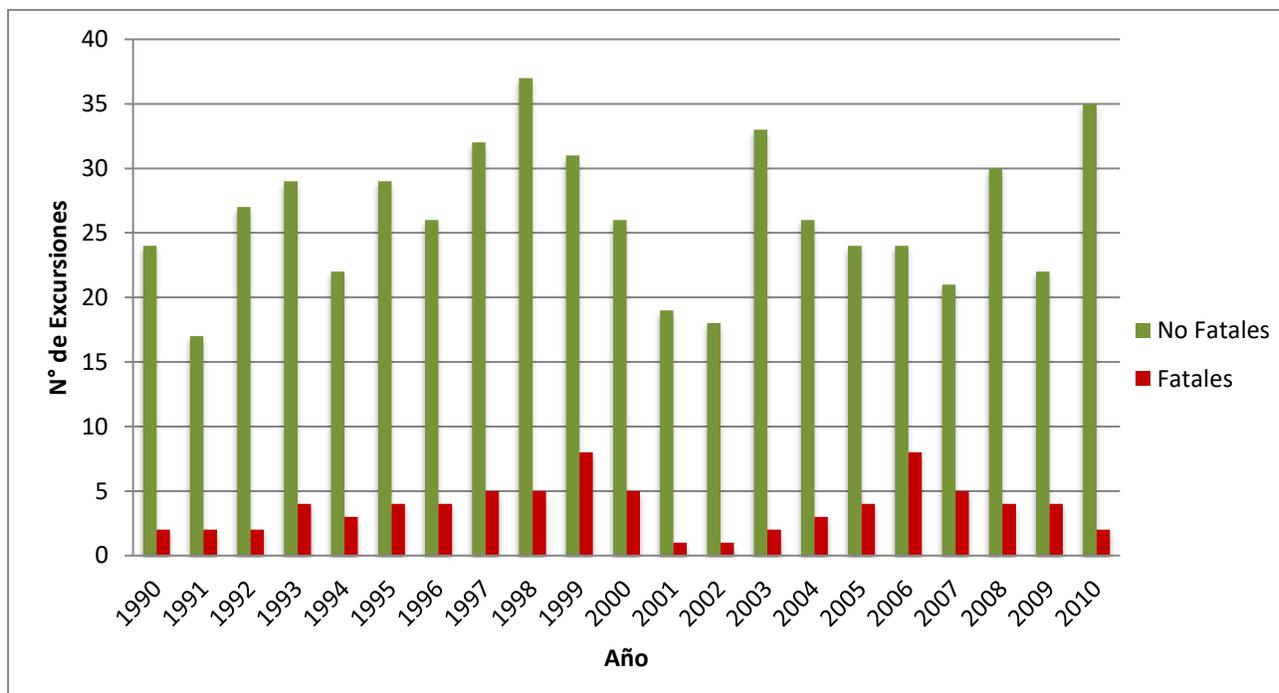


Figura 24. Excursiones de Pista por año y grado de fatalidad, 1990-2010. (Fuente: Elaboración Propia).

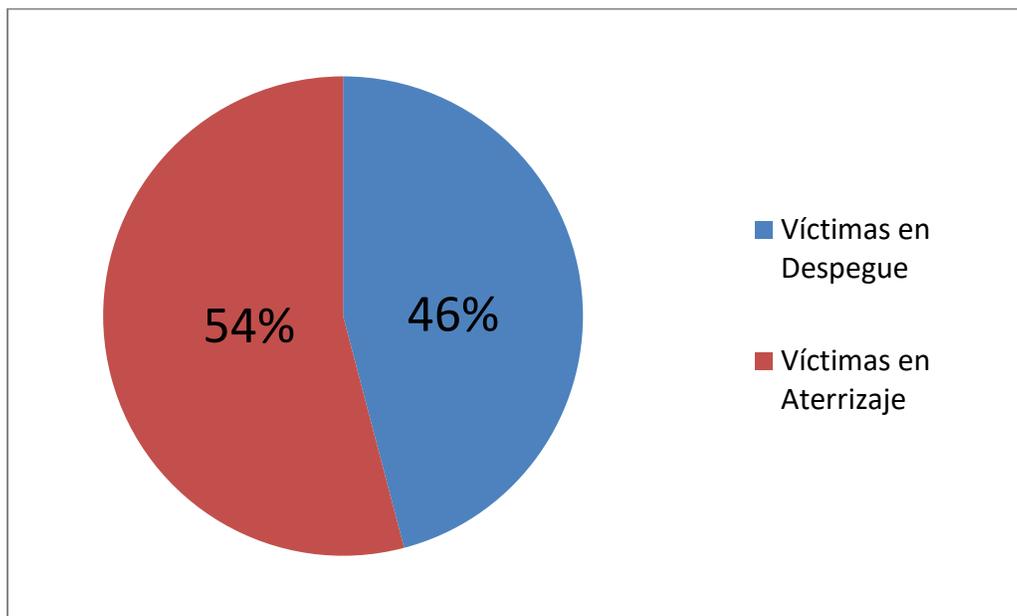
Entre las excursiones de pista más notables, identificadas entre los años 1990 y 2010, se incluyen las siguientes:

- 27/08/1993. Aeropuerto de Khorugh, Khorugh, Tayikistán. Un Yakovlev Yak-40, con 81 pasajeros a bordo, no consigue despegar, abandonando la pista por el final de la misma. La configuración estándar para este tipo de aeronaves es de 28 pasajeros. Fallecen 82 personas.
- 08/01/1996. Aeropuerto de N'Dolo, Kinshasa, República Democrática del Congo. Un Antonov AN-32B no consigue despegar al encontrarse sobrecargado y tras abandonar la pista por el final de la misma, termina impactando contra un mercado en las afueras del aeropuerto. Fallecen 237 personas.
- 09/07/2006. Aeropuerto Internacional de Irkutsk, Irkutsk, Rusia. Debido a una mala operación de las palancas de potencia del A310-230 durante el aterrizaje, no se consigue frenar dentro de los límites de pista. Fallecen 125 personas.
- 17/07/2007. Aeropuerto de Congonhas, Sao Paulo, Brasil. Debido a una mala utilización de las palancas de potencia por parte de la tripulación y una deficiencia

en el diseño de dicho sistema, provocando la no actuación de diversos sistemas de frenado, un A320-230 no consigue frenar dentro de los límites de la pista luego de aterrizar. Tras abandonar la misma, cruza una avenida e impacta con un edificio. Fallecen 199 personas.

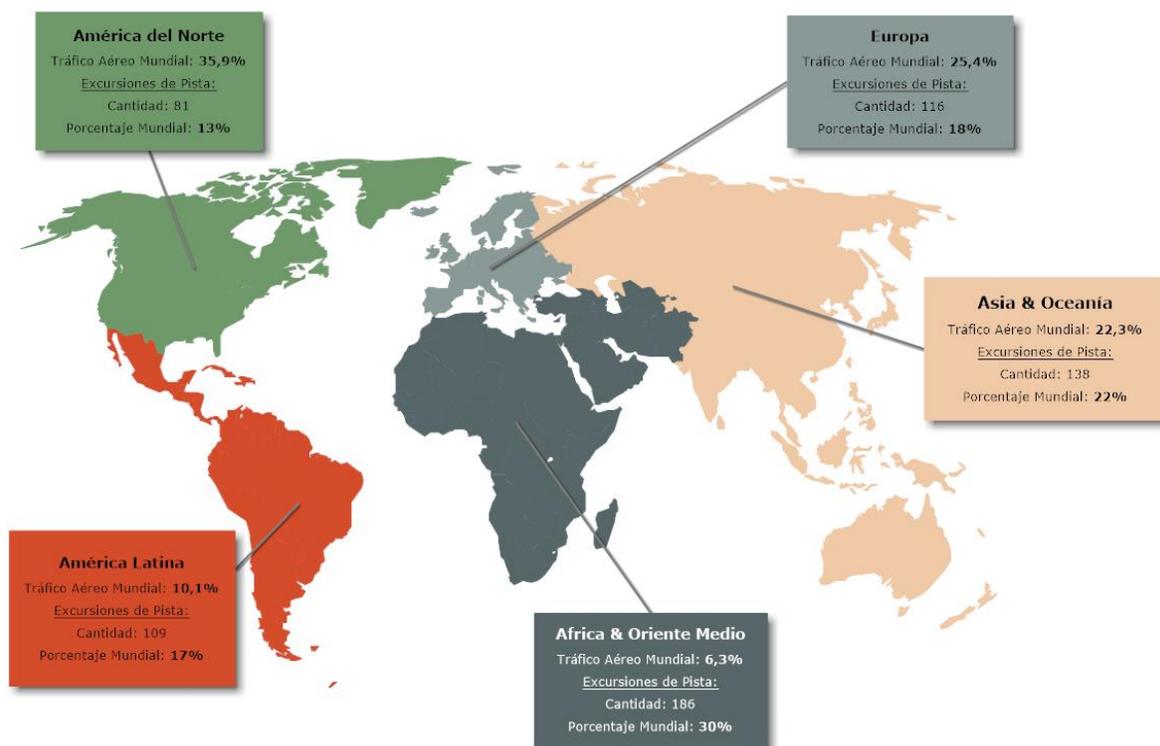
- 22/05/2008. *Aeropuerto Internacional de Mangalore, Mangalore, India*. Luego de una aproximación desestabilizada y un consecuente aterrizaje largo, el Boeing B737-800 no consigue frenar dentro de los límites de pista. Fallecen 158 personas.

Como se ha podido observar en la figura 23, las excursiones de pista ocurren mayoritariamente durante los aterrizajes. Sin embargo, las excursiones en despegue poseen una tasa de mortalidad mayor. Prácticamente hubo el mismo número de fatalidades en las excursiones durante el despegue que durante el aterrizaje, aun cuando estas últimas representan casi 3/4 partes del total de las excursiones de pista. En otras palabras, el riesgo hacia la salud de las personas a bordo y la integridad de la aeronave es considerablemente mayor durante las excursiones en despegue. Durante el mismo, la aeronave se encuentra acelerando con los motores a máxima potencia. Esto, sumado al hecho de que los tanques de combustible se encuentran generalmente llenos, por ende la aeronave opera con un peso superior, provocan que la energía puesta en juego sea mayor que durante el aterrizaje. Asimismo, dicha cantidad de combustible presente aumenta enormemente el riesgo de que se produzca un fuego durante la excursión de pista, con todos los problemas que esto acarrea.



*Figura 25. Víctimas asociadas con las excursiones de pista en Despegue y en Aterrizaje (Fuente: Elaboración Propia).*

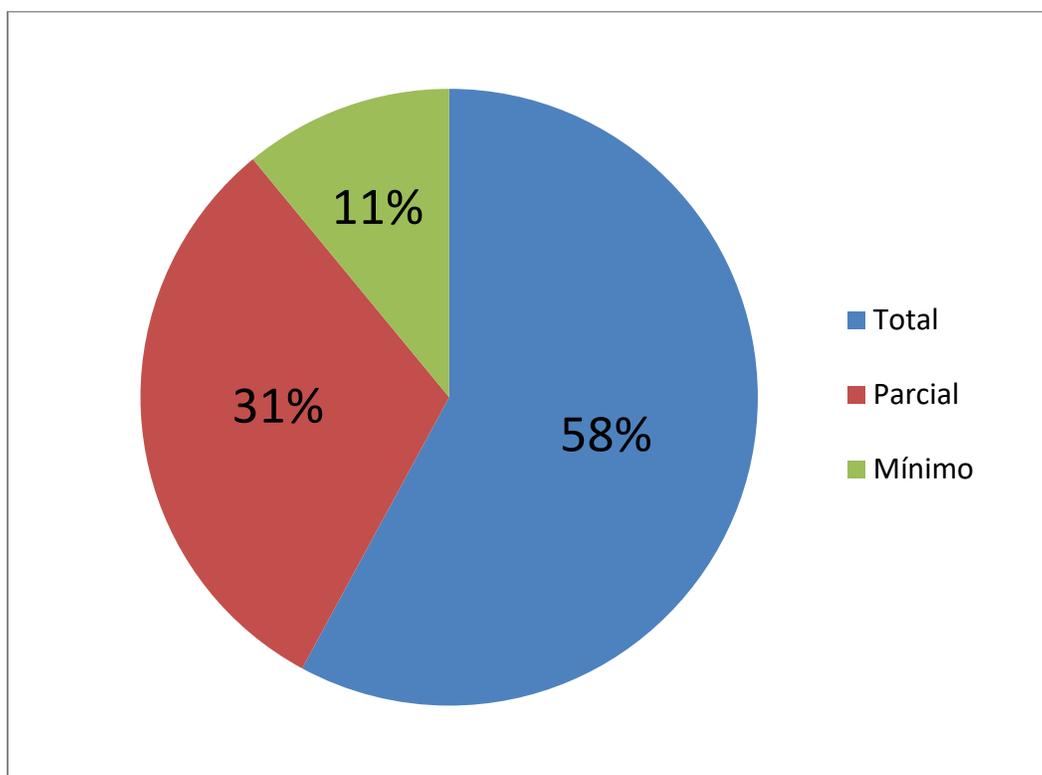
Geográficamente, se encontró que la región donde más excursiones de pista acontecieron fue África en conjunto con Oriente Medio, ratificando el hecho de ser las zonas en el mundo donde mayor número de accidentes aéreos suceden (ver figura 7). En concreto, un 30% del total de las excursiones ocurrieron en dicha región. Esta cifra es de especial importancia cuando se tiene en cuenta que dicha zona únicamente representa, al año 2013, el 6,3% del tráfico aéreo mundial (*Fuente: Airports Council International, 2013*). En contraste, América del Norte, con un 35,9% de movimientos a nivel mundial, es la región con menor número porcentual de excursiones de pista. Esto destaca, entre otras cosas, el énfasis en la seguridad operacional por parte de determinados países, quienes constantemente están revisando cómo mejorarla. Mientras tanto, en otras regiones del mundo, la actividad aeronáutica está poco regulada, contribuyendo al riesgo de ocurrencia de accidentes. Por último, se menciona que el país con mayor número de excursiones en este período fue Estados Unidos, contabilizando un total de 53.



*Figura 26. Excursiones de Pista por región geográfica, 1990-2010. (Fuente: Elaboración Propia, Airports Council Information).*

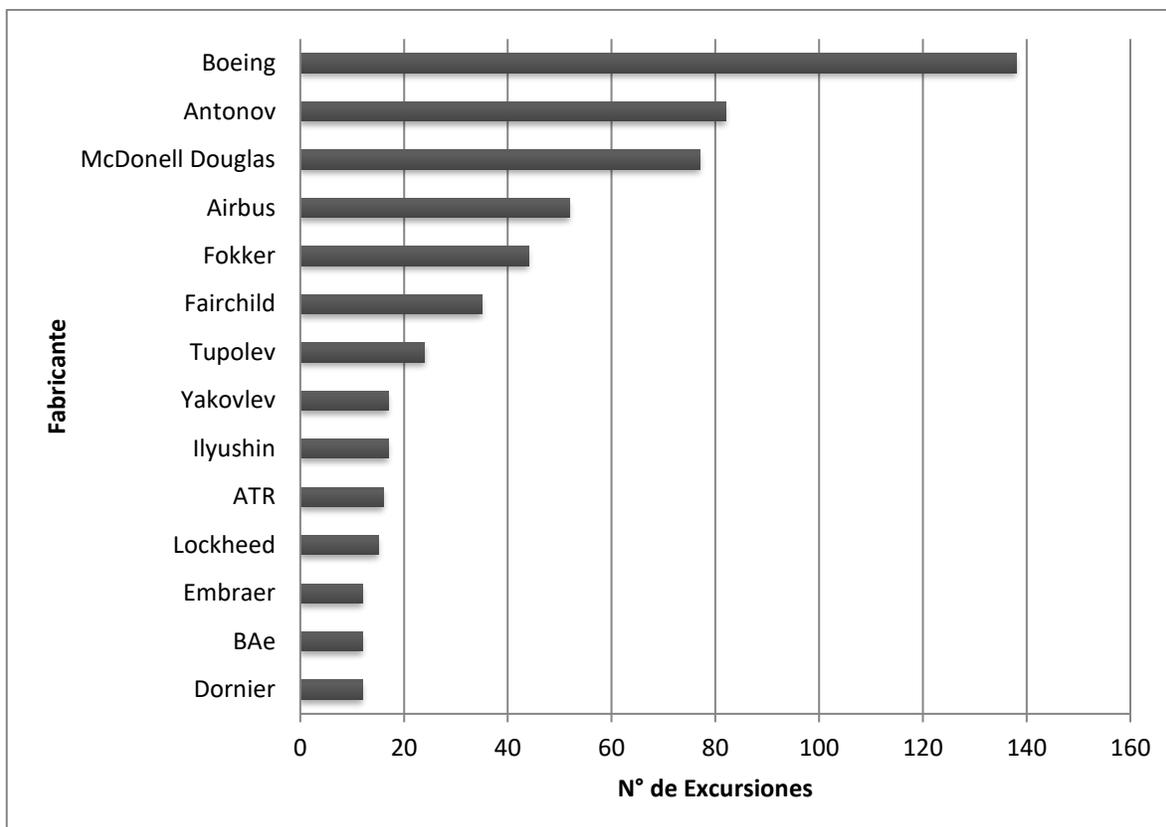
Así como las excursiones de pista provocan pérdidas humanas, también ocasionan pérdidas materiales significativas. Un estudio realizado por el fabricante Airbus en el año 2011 establece las pérdidas monetarias atribuibles a este tipo de accidentes, en un período de 25

años, en más de 5 mil millones de dólares. Esta cifra representa un 33% de la totalidad de las pérdidas materiales ocurridas en accidentes aéreos. La figura 27 representa el grado de severidad en los daños sufridos por la aeronave durante las excursiones de pista estudiadas. Como se puede observar, más de la mitad de las excursiones causaron daños totales en la aeronave, es decir, tras el accidente la aeronave quedó fuera de servicio, ya fuera porque los daños eran excesivos o la reparación era económicamente inviable.



*Figura 27. Daños sufridos por la aeronave en las Excursiones de Pista, 1990-2010. (Fuente: Elaboración Propia).*

En cuanto a las aeronaves envueltas en las excursiones de pista, se encontró que aquellas pertenecientes al fabricante Boeing fueron las que mayormente sufrieron este tipo de accidentes. Esto era de esperar dado que en el período que abarca el estudio, Boeing fue con diferencia el fabricante con mayor número de aviones en activo (*Fuente: Flight International*). Asimismo, debe destacarse que en estos 21 años en los que se extiende el informe, la flota mundial de aviones ha cambiado sustancialmente. Por lo tanto, es altamente probable que algunas variaciones de aeronaves que sufrieron excursiones de pista durante este período, hoy por hoy no se encuentren más en activo. La figura 28 lista los fabricantes de aeronave que más han incurrido en las excursiones de pista.



*Figura 28. Fabricantes de aeronaves envueltos en las Excursiones de Pista, 1990-2010.  
(Fuente: Elaboración Propia).*

Por su parte, el tipo de aeronave más accidentada se corresponde con la familia del Boeing 737, contabilizando un total de 82 excursiones de pista (60% del total del fabricante Boeing). Debe mencionarse que, dicha familia de aeronaves a reacción consta del mayor número de unidades vendidas a nivel mundial en la historia de la aviación.

Basándose en este análisis general realizado sobre las excursiones de pista ocurridas durante la década del 90 y la del 2000, se ha podido determinar cómo, aun cuando la tendencia mundial supone una disminución en los accidentes aéreos, las excursiones de pista están en ligero aumento. Si bien se ha demostrado que, por lo general, no suele ser un accidente fatal, deberá estudiarse a conciencia por qué ocurren, de forma tal de poder abordar aquellos causales más recurrentes y lograr transformar esa tendencia creciente en una decreciente. En los apartados venideros se analizarán en detalle todas las causas que contribuyen a la ocurrencia de este tipo de siniestros, ya sean factores meteorológicos, humanos o asociados a fallas de los sistemas de la aeronave.

## 3.2 Excursiones de Pista asociadas a Condiciones Meteorológicas

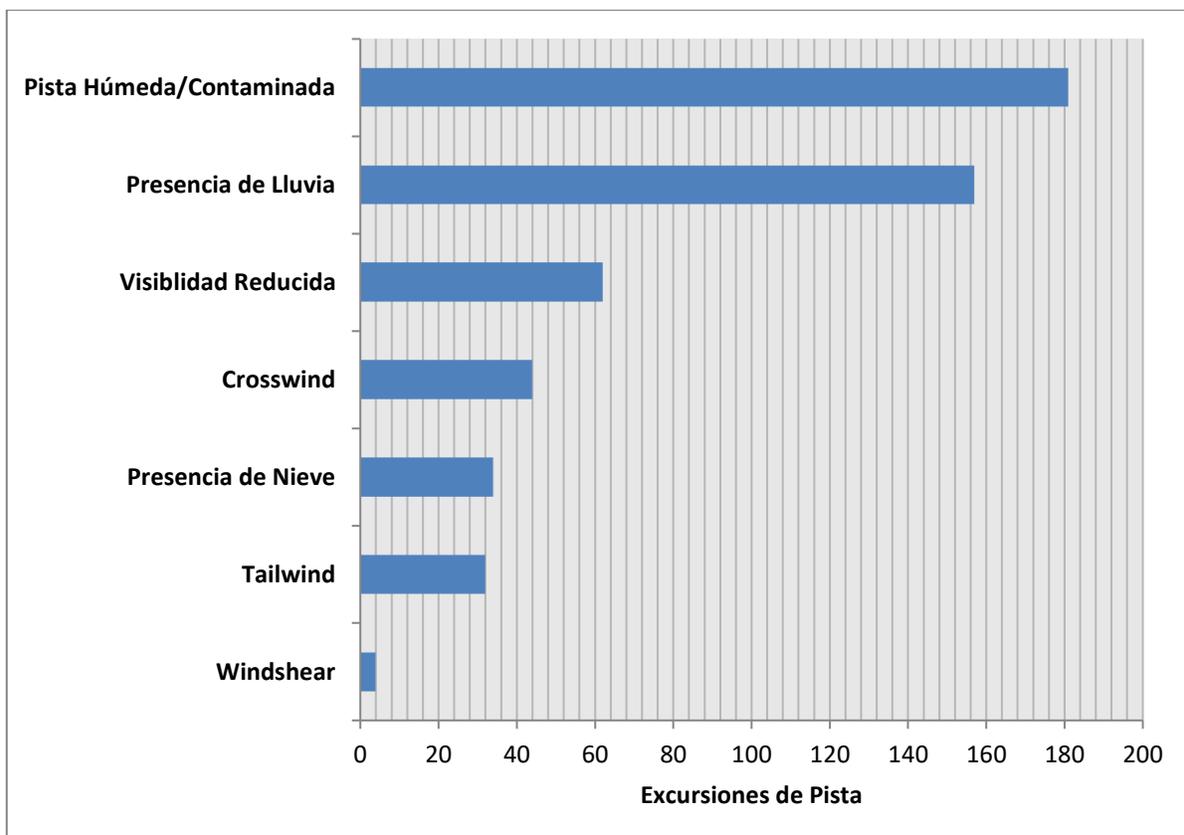
Entre los múltiples factores asociados con las excursiones de pista se encuentran las condiciones meteorológicas reinantes en el aeródromo al momento del despegue o el aterrizaje. Como se podrá ver a continuación, este tipo de factores están presentes en prácticamente el 50% de las excursiones de pista, siendo por tanto de gran importancia su estudio. En la mayoría de las ocasiones, está ligado con la existencia de lluvia al momento o instantes antes del accidente.

De la totalidad de las excursiones de pista estudiadas, 292 (46%) de ellas se asocian con uno o más de los factores meteorológicos analizados. Entre ellos, se destacan los siguientes:

- **Pista Mojada/Contaminada:** En 183 de 292 (63%) accidentes la pista se encontraba mojada al momento de llevar a cabo el aterrizaje o despegue. Mayoritariamente, el contaminante era agua acumulada en la superficie de la pista, consecuencia de la lluvia. En un número menor de casos, la pista se encontraba cubierta de nieve o hielo. Esta condición de pista provoca una disminución en el coeficiente de fricción, con el consecuente aumento en la carrera de frenado de la aeronave o mayor dificultad para mantener el control direccional. En los peores casos, puede incluso dar lugar al hidroplaneo.
- **Presencia de Lluvia o Nieve:** En 157 de 294 (54%) accidentes había lluvia presente al momento de efectuar el aterrizaje o despegue. Dependiendo de la intensidad de la lluvia, la misma trae aparejada efectos secundarios como lo pueden ser una reducción en la visibilidad o una disminución en el coeficiente de fricción de la pista. En otras palabras, lo que se denomina una pista húmeda o mojada. En cuanto a la presencia de nieve, la misma estuvo presente en 34 de 292 (12%) accidentes. Sus consecuencias son similares a las de la lluvia.
- **Visibilidad Reducida:** En 62 de 292 (21%) accidentes la tripulación llevó a cabo el despegue o aterrizaje con visibilidad reducida. Generalmente, esta disminución de la visibilidad fue consecuencia de períodos de lluvia intensa, tormentas eléctricas o presencia de neblina o niebla. Cada una de estas condiciones climatológicas afecta de manera distinta a la percepción y visibilidad de los pilotos, pudiendo en algunos casos generar ilusiones ópticas.

- Crosswind/Tailwind/Wind Shear:** En 43 de 292 (15%) accidentes, la presencia de viento cruzado al momento de llevar a cabo el despegue o aterrizaje fue factor contribuyente. Por su parte, el viento de cola fue factor en 36 de 292 (12%) accidentes. En la mayoría de estos casos, hubo también negligencia o desconocimiento por parte de la tripulación en cuanto a los límites establecidos por el fabricante para operar bajo estas condiciones se refiere. Asimismo, en el caso del viento cruzado también hay que mencionar que en varios casos se empleó de manera errónea las técnicas de corrección de deriva.

Cabe destacar que es extremadamente inusual que la única causa de un accidente se atribuya a factores meteorológicos. Generalmente, sumados a estos factores existen otros como lo pueden ser aproximaciones desestabilizadas, que terminan en aterrizajes largos o más rápidos de lo debido, usos incorrectos de los dispositivos de frenado de la aeronave o desviaciones con respecto a los procedimientos estándar de operación. El gráfico siguiente resume el número de excursiones de pista asociadas a cada factor climatológico. Nótese que un mismo accidente aéreo puede tener uno o más factores contribuyentes vinculados.



*Figura 29. Excursiones de Pista asociadas a factores meteorológicos. (Fuente: Elaboración Propia).*

A continuación se indagará en algunos de estos factores mencionados de forma tal de enfatizar cómo afectan a la seguridad del vuelo y la performance de la aeronave.

### 3.2.1 Pista Mojada o Contaminada

Uno de los factores mayormente presentes en las excursiones de pista concierne directamente al estado de la misma al momento de efectuarse el despegue o el aterrizaje. La condición en la que se encuentre su superficie puede tener un impacto significativo sobre la performance de la aeronave. En el caso de una pista mojada, el coeficiente de fricción de la superficie se verá reducido mientras que en el caso de una pista contaminada, a esto último habría que sumarle posibles ingestiones de agua o aguanieve, que podrían dar lugar a pérdidas de potencia en la planta poder de la aeronave. Debido a esto, el estado en que se encuentren las pistas en un aeropuerto supone un aspecto crítico en la seguridad operacional.

En primer lugar deben definirse las distintas condiciones en las que se puede encontrar una pista, ya sea una pista seca, húmeda, mojada o contaminada. Para lo mismo, la Flight Safety Foundation (FSF) se basa en una definición establecida por la European Joint Aviation Authorities (JAA):

- Pista Seca: Se considera a una pista seca cuando la misma no está ni mojada ni contaminada. Incluye aquellas pistas que poseen un pavimento especialmente preparado con surcos o pavimentos rugosos y que se mantienen de forma tal de mantener la eficacia de frenada aun cuando haya humedad presente.
- Pista Húmeda: Se considera a una pista húmeda cuando la misma no se encuentra seca, pero la humedad sobre ella no es la suficiente para generar un aspecto brillante.
- Pista Mojada: Una pista es considerada mojada cuando la superficie de la misma está cubierta por agua, o un equivalente de la misma, o cuando existe suficiente humedad sobre la pista provocando una superficie reflejante, pero sin demasiadas zonas donde haya agua estancada.
- Pista Contaminada: Se considera a una pista contaminada cuando más del 25% de la superficie de la misma (sea en áreas aisladas o no), dentro de la longitud y ancho requeridas para su utilización, se encuentra cubierta de:

- Superficie de agua con una profundidad mayor a 3mm (0,125 in) o por aguanieve o nieve suelta equivalente a esa cantidad de agua.
- Nieve que ha sido comprimida en una masa sólida de tal forma que resiste compresiones mayores y que se mantendría unida o se fraccionaría en partes menores en caso de ser recogida (nieve compactada).
- Hielo, incluyendo hielo húmedo.

Así como sucediese a la hora de definir las excursiones de pista, distintos organismos como lo pueden ser la FAA o la OACI poseen diferentes definiciones. No siempre es fácil clasificar según estas definiciones la condición actual en la que se encuentra la superficie de una determinada pista. Por ejemplo, dadas grandes longitudes de pista, dicha condición puede variar de un extremo a otro. Asimismo, por lo general la profundidad del contaminante no suele ser constante a lo largo de la misma.

En lo que a este estudio respecta, dada la escasez de información en la mayoría de los accidentes analizados, no fue posible distinguir en gran parte de las excursiones de pista si la misma se encontraba mojada o contaminada.



*Figura 30. Ejemplo de Pista Mojada.*

## Consecuencias de una Pista Contaminada

Existen diversas consecuencias de una pista contaminada sobre la performance de la aeronave, pero probablemente la más importante es la que concierne al frenado. En un avión, dicho frenado se logra a través de distintas formas, siendo la principal de ellas la interacción existente entre las cubiertas del tren de aterrizaje y la superficie de la pista. La presencia de un fluido contaminante sobre la superficie de la pista como lo son el agua, aguanieve y nieve, o de un sólido contaminante (nieve compactada, hielo o depósitos de caucho), afectan de manera adversa al frenado de la aeronave mediante:

- Reducción en el coeficiente de fricción entre las cubiertas del tren de la aeronave y la superficie de la pista. Dicha reducción en la fuerza de fricción depende entre otras cosas de:
  - Desgaste de las cubiertas y presión de inflado;
  - Superficie de la Pista;
  - Performance del sistema Anti-Skid;
  
- Aparición de una fina capa de fluido entre las cubiertas y la pista, reduciendo el área de contacto y por ende creando el riesgo de un hidroplaneo (Aquaplaning).

Todo lo que concierne a la medición del coeficiente de fricción en la pista lo establece la OACI en su "Manual de Servicios de Aeropuertos, Parte 2: Condiciones de la superficie del pavimento". El mismo abarca, entre otros, los requerimientos necesarios para mantener el coeficiente de fricción de pista, cómo realizar estimaciones periódicas de las condiciones de pista utilizando instrumentos de medición de fricción o la remoción de contaminantes como la nieve.

Canadá es uno de los pocos países que ha intentado cuantificar los valores que adopta el coeficiente de fricción en pista, según la condición en la que se encuentre, y cómo estos impactan en la performance de la misma. Tal es así que han elaborado un índice denominado *Canadian Runway Friction Index* (CRFI) que otorga un coeficiente de fricción equivalente dependiendo del estado de la pista.

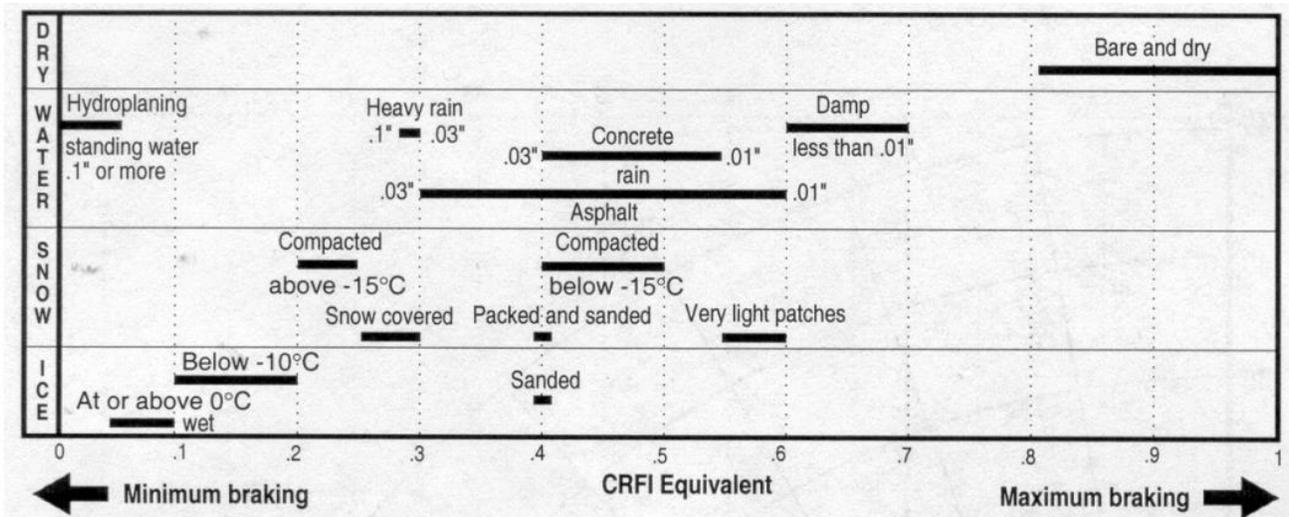


Figura 31. Condición en la que se encuentra la pista y su equivalente en CRFI.

Como se ha podido apreciar, las mayores fuerzas de rozamiento se obtienen en pistas secas. Ahora bien, estas fuerzas de rozamiento disminuyen conforme la condición de la pista se deteriora. Si la pista se encuentra mojada, inundada, cubierta de nieve o hielo, entre otras cosas, el coeficiente de rozamiento adoptará valores distintos y esto incidirá directamente sobre la capacidad de frenado de la aeronave.

Generalmente, siempre que exista un fluido contaminante sobre la superficie de la pista, habrá hidroplaneo en diferentes niveles por parte de la aeronave. En aquellos más severos, la capacidad de frenado de la misma puede verse drásticamente afectada. Si bien el concepto de hidroplaneo se explicará en detalle en el apartado 3.4.1, cabe mencionar que su efecto consiste en evitar que las ruedas giren. Esta es una situación crítica dado que los sistemas de *Autobrake* (Frenos automáticos), *Antiskid* (Anti deslizamiento) y despliegue automático de los *spoilers* dependen de una velocidad de rueda de referencia para funcionar.

Tanto la superficie como el tipo de construcción de la pista juegan un papel importante en la determinación del coeficiente de fricción de la misma. Dicho coeficiente viene dado por la combinación en la microtextura y macrotextura de su superficie. Por ejemplo, una pista que se encuentre mojada pero cuya superficie sea rugosa, poseerá un mayor coeficiente de fricción que una pista lisa. Además, aquellas pistas que no posean pendiente lateral para permitir el drenaje del agua, serán propensas a acumular zonas de agua estancada. Por su parte, cabe mencionar que el viento cruzado (*Crosswind*) genera un efecto similar dado que empuja el agua drenada nuevamente hacia la pista. Una forma alternativa de reducir la acumulación de agua sobre la pista consiste en la utilización de una superficie con surcos o

ranuras transversales a fin de canalizar el agua estancada. Desafortunadamente, a día de hoy, la gran mayoría de las pistas a nivel mundial carecen de este tipo de construcción. En el apartado 3.5.5 se explicará en qué consiste este tipo de pista.



*Figura 32. Pista con ranurado transversal.*

Por último, los fluidos contaminantes también pueden contribuir a la fuerza de frenado a través de:

- Resistencia por desplazamiento u oposición al movimiento hacia adelante de las ruedas;
- Generando un *spray* que impacta con el tren de aterrizaje y la estructura de la aeronave. A esto se lo conoce como "*Impingement Drag*". Los certificados regulatorios requieren que dicho *spray* sea desviado de las entradas de aire de los motores.

La figura 33 resume cualitativamente cómo afectan en la distancia de aterrizaje diversos factores, entre ellos los meteorológicos.

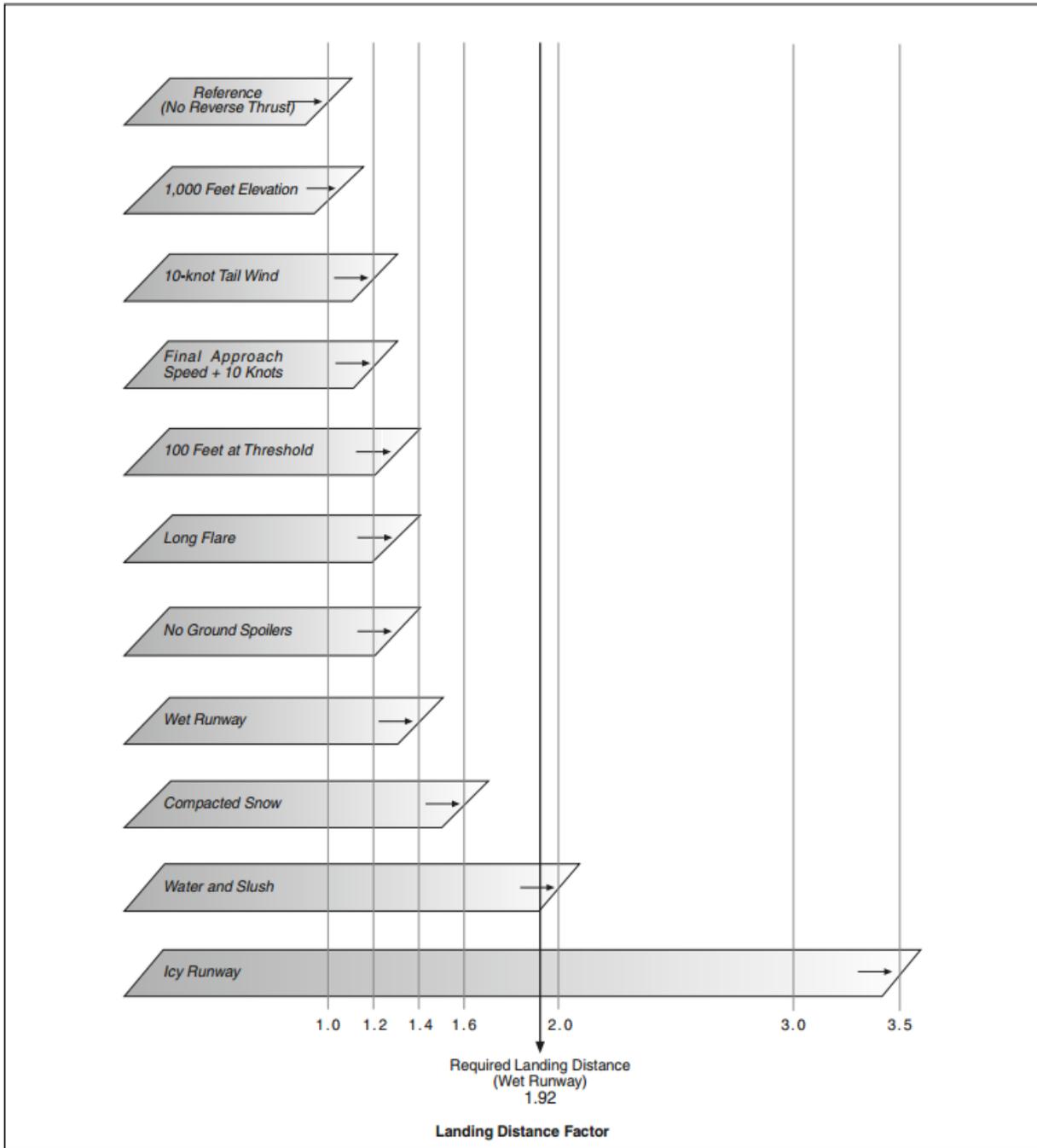


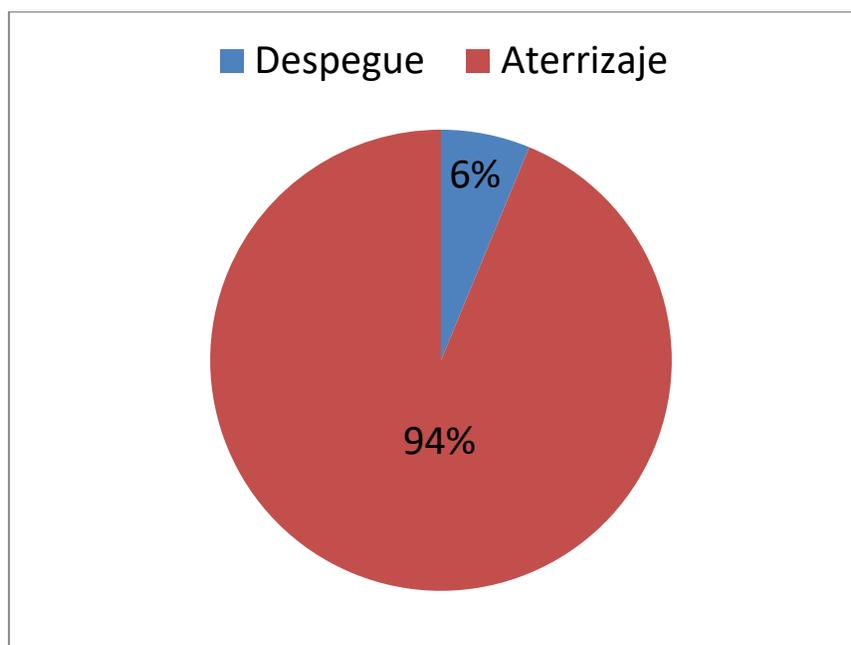
Figura 33. Factores que afectan la carrera de aterrizaje de una aeronave (Fuente: FSF, 2008).

### 3.2.2 Tailwind y Crosswind

Así como sucedía con las pistas contaminadas, el efecto del viento sobre la operación de la aeronave también ha sido factor en un número considerable de excursiones de pista. Aun cuando sea común que las aeronaves despeguen o aterricen con viento cruzado o de cola, si en dicha operación no se tienen en cuenta determinadas precauciones y se respetan las SOP, podría darse lugar a aterrizajes complicados y la consecuente posibilidad de una excursión de pista. A continuación se realiza un análisis de cómo repercute el viento en la operación de la aeronave.

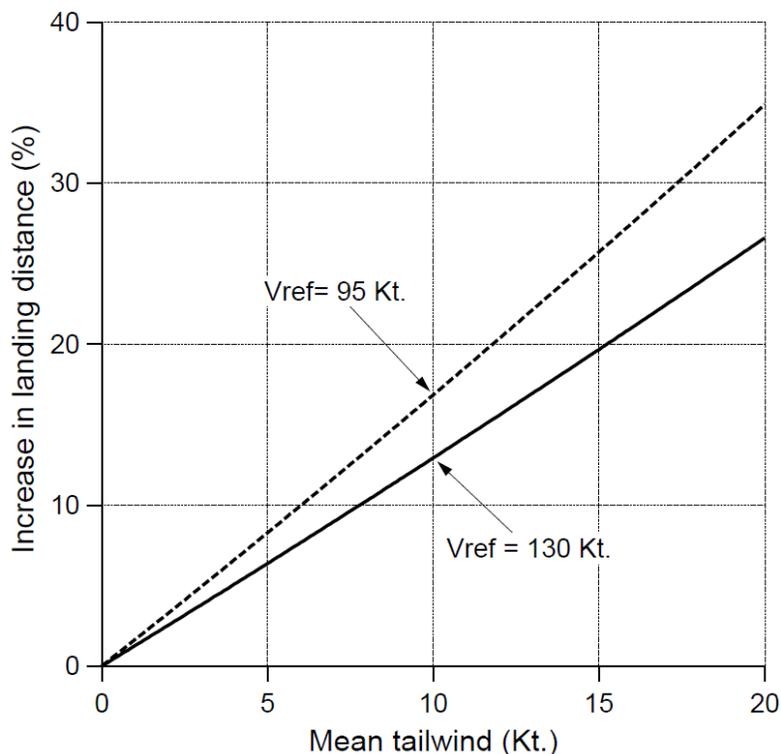
#### **Tailwind**

El viento de Cola o *Tailwind* incrementa la velocidad con respecto al suelo de la aeronave, por lo que las distancias requeridas para despegar y aterrizar se verán afectadas. Por consiguiente, ambas distancias deberán ser corregidas para operar bajo dichas condiciones (el tipo y factor de corrección a emplear dependerá de las regulaciones pertinentes y estará incluida en los manuales de vuelo). El viento de cola ha sido factor contribuyente al accidente en un total de 32 excursiones de pista analizadas, lo que supone un 12% si solo se tienen en cuenta aquellas excursiones donde las condiciones meteorológicas estuvieron implicadas. Ahora bien, como lo demuestra la figura 34, la mayoría de estas excursiones de pista ocurrieron durante el aterrizaje.



*Figura 34. Porcentaje de Excursiones de pista - por fase de vuelo - donde el Tailwind fue factor contribuyente. (Fuente: Elaboración Propia).*

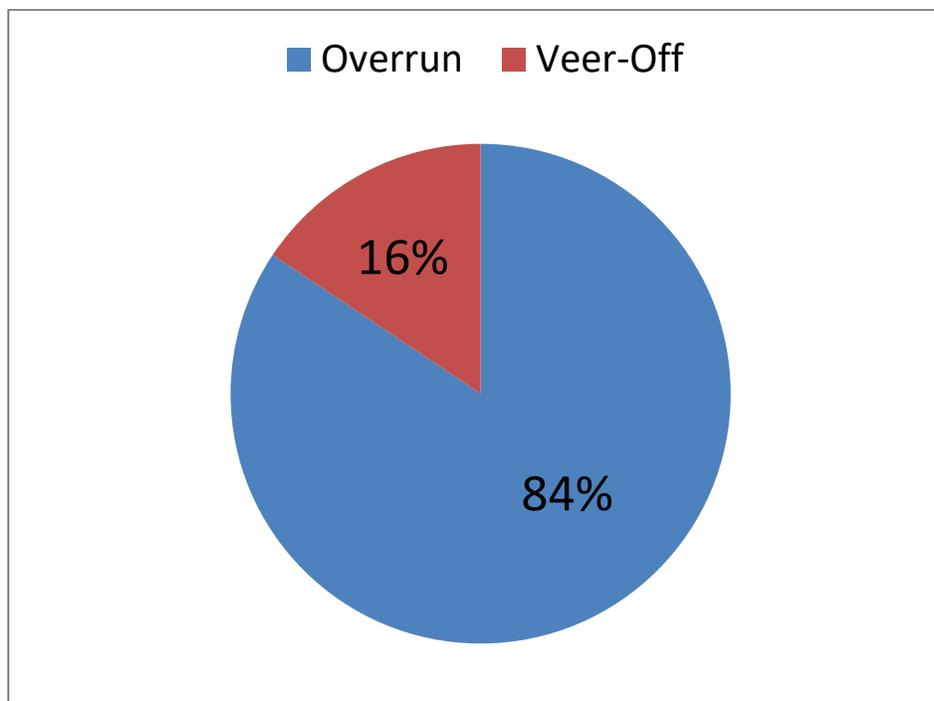
Aeronaves que estén aproximando a bajas velocidades son más sensibles a las variaciones en el viento de cola y su efecto en la distancia de aterrizaje, a diferencia de aquellas que aproximen a mayores velocidades. Esto se encuentra ilustrado en la figura 35.



*Figura 35. Influencia relativa de la velocidad de aproximación sobre la distancia de aterrizaje debido a la presencia de Tailwind (Fuente: National Aerospace Laboratory NLR, 2001).*

En una operación con viento de frente, la utilización de un factor de corrección por viento para la determinación de la performance de la aeronave es opcional. En contraste, para una operación con viento de cola, es obligatorio tener en cuenta dicha componente del viento. Tanto las *Federal Aviation Regulations* (FAR) como las *Joint Aviation Regulations* (JAR) requieren que se utilice para los cálculos de performance un valor equivalente al 150% de la intensidad real del viento.

Como ya se mencionara, un despegue o aterrizaje con viento de cola implica mayor recorrido de la aeronave en la pista. Por ende, no es de extrañar que un 84% de las excursiones de pista bajo estas condiciones de viento se corresponden con las del tipo *Overrun*.

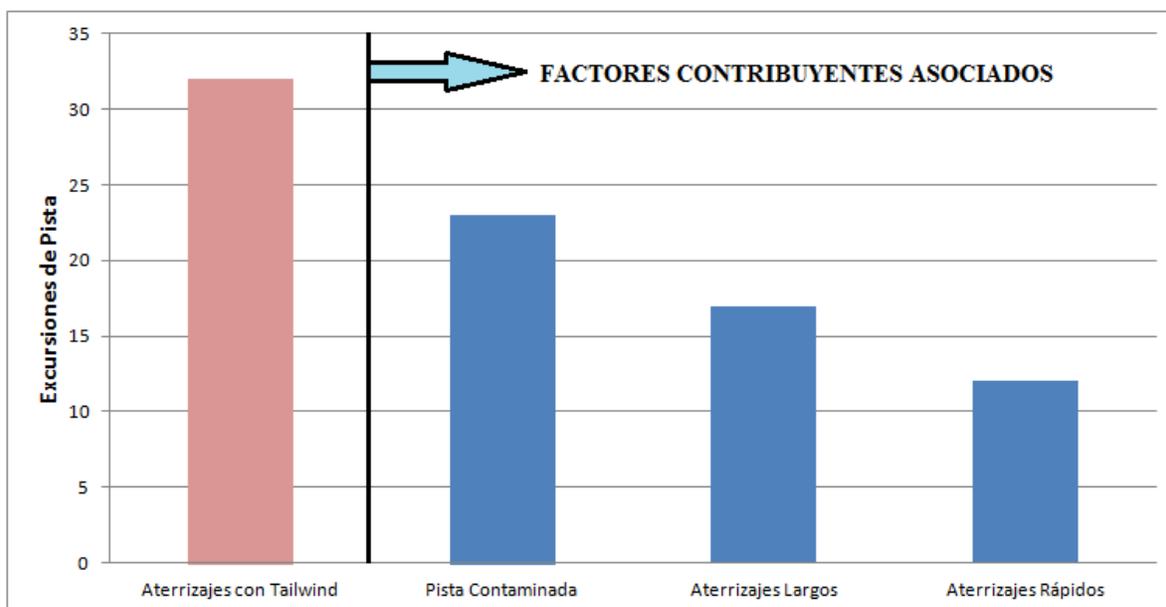


*Figura 36. Porcentaje de Excursiones de pista - por tipo - donde el Tailwind fue factor contribuyente. (Fuente: Elaboración Propia).*

El coeficiente de rozamiento de la pista también es de especial importancia cuando se aterriza bajo estas condiciones de viento. En aquellas pistas donde dicho coeficiente adopte valores medios o bajos, como ya se ha podido observar en el apartado 3.2.1, las distancias de frenado aumentan. Si a esto se le suma el hecho de que la aeronave aterriza con una mayor velocidad con respecto a tierra dada la presencia del viento de cola, esta distancia se verá aumentada aún más, pudiendo incluso en algunos casos sobrepasar a la distancia de aterrizaje disponible (LDA). Se encontró que de las 32 excursiones de pista donde el viento de cola fue factor contribuyente al accidente, en 23 de ellas (más del 70%) la pista se encontraba mojada o contaminada.

Asimismo, sumado a las pistas contaminadas, se observó que otro factor comúnmente asociado con los accidentes ocurridos bajo condiciones de viento de cola son las aproximaciones desestabilizadas. Si bien dicho tipo de aproximación se explicará en detalle en el apartado 3.3.1, cabe mencionar por ahora que la misma se traduce en aterrizajes largos, donde la aeronave aterriza más allá de la zona de visado, o aterrizajes rápidos, donde la aeronave aterriza con una velocidad mayor a la velocidad de referencia. Se encontró que en 17 de las 32 excursiones de pista (53%) relacionadas con el viento de cola, la aeronave aterrizó largo mientras que en 12 de ellas (38%), lo hizo a una mayor velocidad

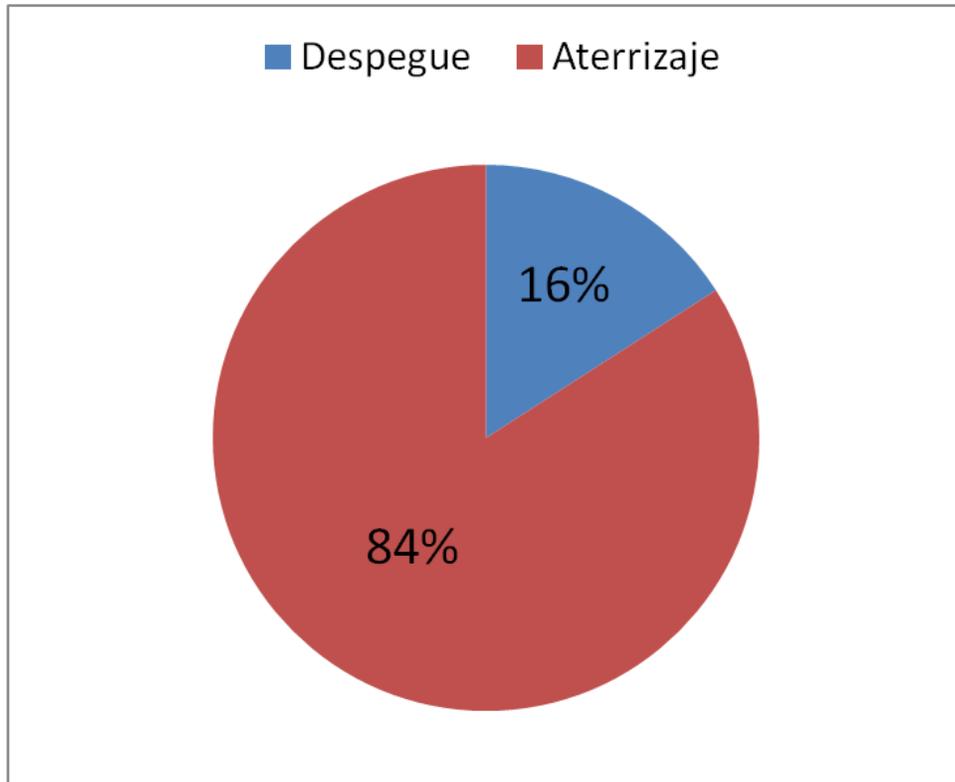
que la debida. Debe señalarse que en un mismo accidente puede haberse visto implicado un aterrizaje largo y rápido a la vez.



*Figura 37. Factores contribuyentes asociados a las excursiones de pista con Tailwind.  
(Fuente: Elaboración Propia).*

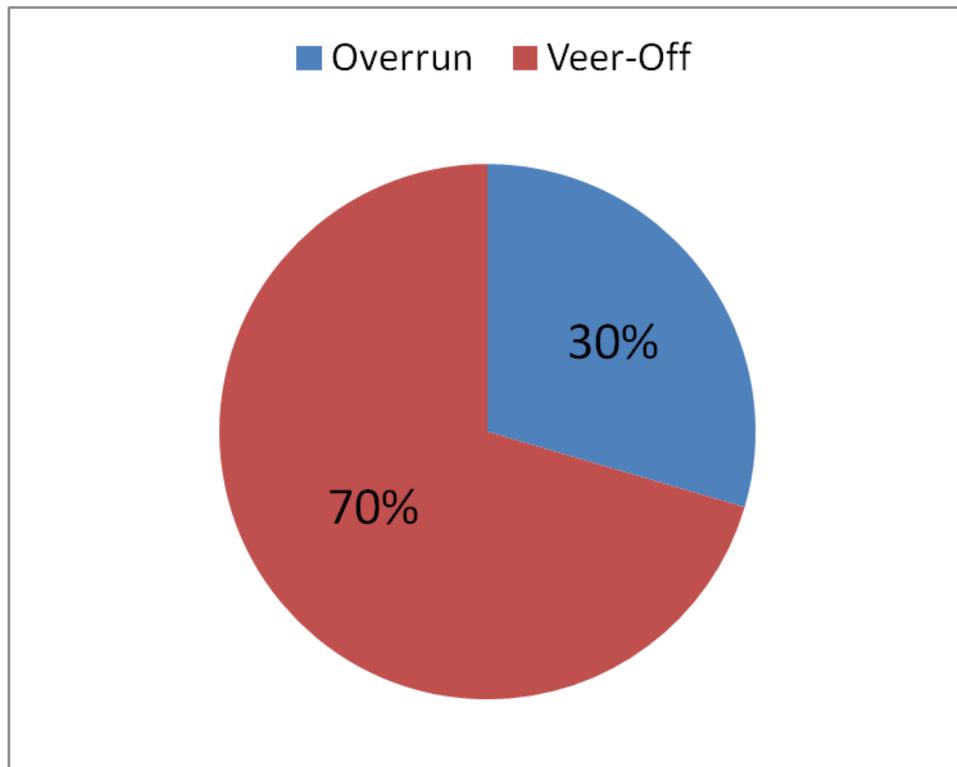
### **Crosswind**

El viento cruzado o *Crosswind* supone un flujo de aire moviéndose en dirección perpendicular a la trayectoria de la aeronave. Operaciones bajo estas condiciones requieren técnicas y maniobras especiales a llevar a cabo por parte de la tripulación, así también como la necesidad de respetar los límites establecidos por el operador o el fabricante, según corresponda. Despegues o aterrizajes mal realizados bajo condiciones de viento cruzado son otra de las causas responsables de las excursiones de pista. Así como sucedía con las operaciones con viento de cola, el mayor número de excursiones de pista bajo esta condición operativa ocurre durante el aterrizaje.



*Figura 38. Porcentaje de Excursiones de pista - por fase de vuelo - donde el Crosswind fue factor contribuyente. (Fuente: Elaboración Propia).*

Ahora bien, en contraste con las excursiones de pista bajo condiciones de viento de cola, en más de 2/3 de accidentes donde el viento cruzado fue factor contribuyente, la excursión de la aeronave ocurrió por los laterales de la pista. Esto es de esperar dado que entre las complicaciones encontradas durante una operación de este tipo, se destaca sobre todo la dificultad para mantener el control direccional de la aeronave, ya sea durante la aproximación o el aterrizaje.



*Figura 39. Porcentaje de Excursiones de pista – por tipo - donde el Crosswind fue factor contribuyente. (Fuente: Elaboración Propia).*

Sumado a la problemática de operar bajo condiciones de viento cruzado, se debe tener en cuenta también el estado de la pista. Los límites de Crosswind recomendados disminuyen conforme el estado de la pista se deteriora. En otras palabras, a medida que el coeficiente de fricción de la pista disminuye, también lo hacen las máximas permitidas para operar con vientos cruzados. Pistas donde dicho coeficiente sea mayor a 0,4 (bueno), las máximas recomendadas pueden superar los 35 nudos, mientras que en aquellas pistas que se encuentren, por ejemplo, inundadas, este límite puede verse reducido hasta los 5 nudos. Debe tenerse en cuenta que dichos límites se basan en simulaciones por computadora y análisis ingenieriles llevados a cabo por el fabricante de la aeronave. No se realizan pruebas en vuelo. La figura 40 muestra cómo para distintos operadores del B747-400, las máximas permitidas de viento cruzado varían conforme la condición de la pista empeora.

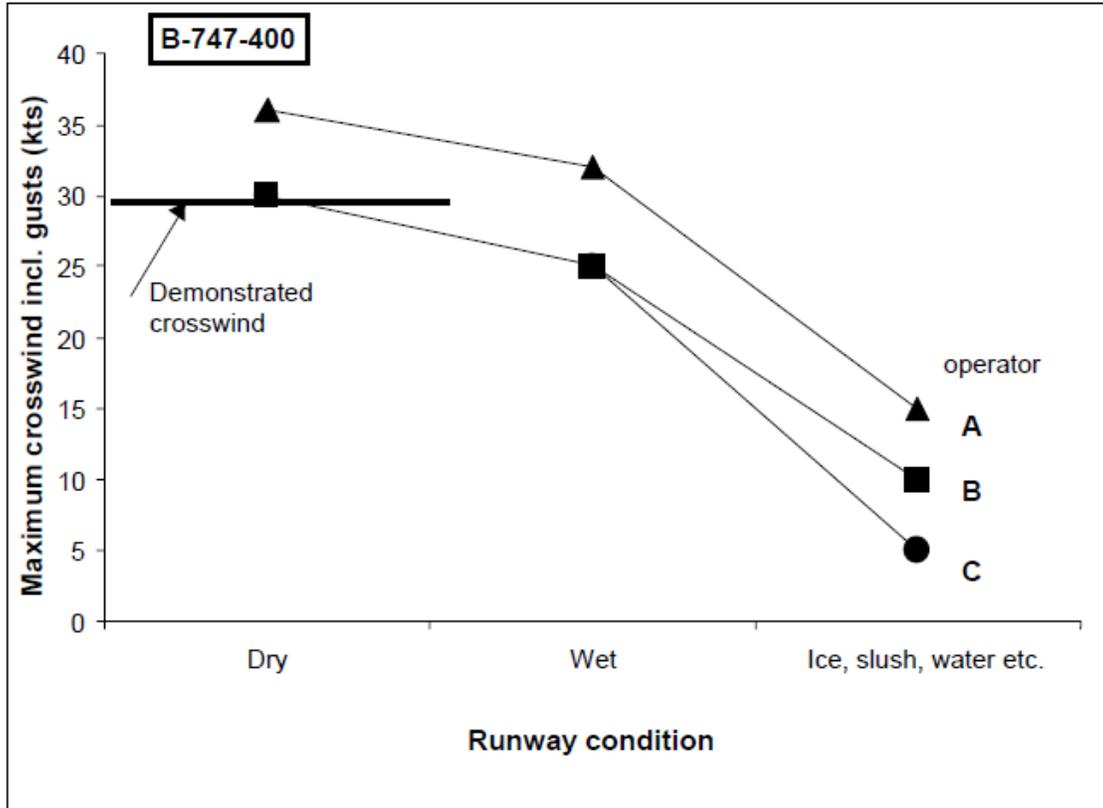
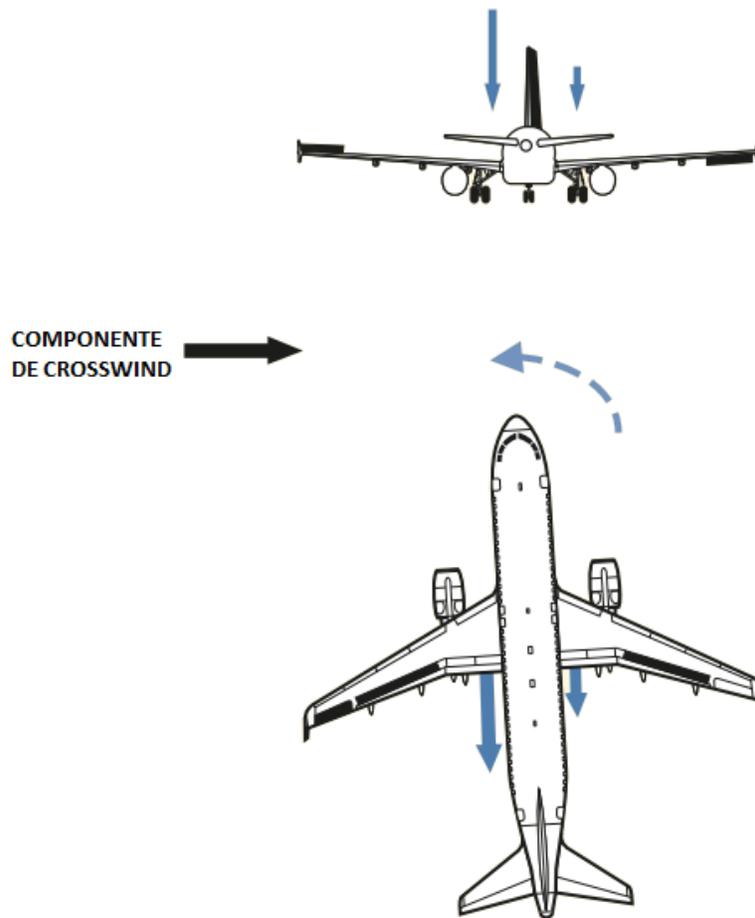


Figura 40. Variación de las máximas permitidas de Crosswind en relación al estado de pista para un B747-400 (Fuente: National Aerospace Laboratory NLR, 2001).

Además, en pistas mojadas, la presencia de viento cruzado podría afectar al drenaje de la misma dado que empuja el agua de vuelta a la superficie de la pista, pudiendo crear zonas de agua estancada.

Una vez la aeronave aterriza, si los vientos cruzados presentes son intensos, se mantienen cruzados los comandos de la aeronave de forma tal de evitar la tendencia que posee la aeronave a alinearse con el viento (denominado “efecto veleta” o en inglés, “*weather-vane*”). Debido a las fuerzas adicionales que aparecen sobre los dispositivos de sustentación y en los spoilers del “ala al viento”, los procedimientos de frenado en tierra empleados durante estas condiciones de viento difieren de aquellos utilizados durante aterrizajes “normales”.

En tierra, la configuración de la aeronave de comandos cruzados resulta en una disminución de la sustentación en la denominada ala al viento, provocando un aumento en la carga aplicada sobre el tren de aterrizaje del mismo lado. Dado que las fuerzas de frenado incrementan a medida que lo hacen las cargas aplicadas sobre ruedas y neumáticos, la fuerza de frenado sobre el tren de aterrizaje del ala al viento será mayor en relación al de la otra ala. Esto provoca una tendencia adicional de la aeronave de girar hacia el viento (figura 41).

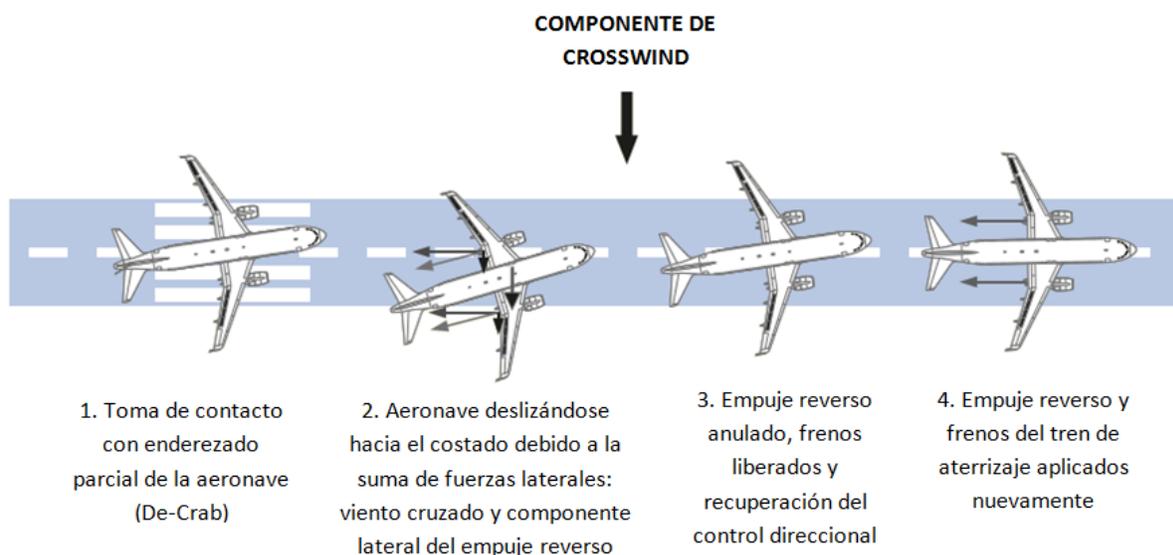


*Figura 41. Efecto de Fuerzas de Frenado desiguales sobre el tren de aterrizaje principal.  
(Fuente: FSF ALAR Briefing Note 8.7, 2009).*

De igual forma, en pistas contaminadas donde el agua no se encuentre homogéneamente distribuida, el sistema de Anti-Skid de la aeronave podría liberar únicamente los frenos de un lado del tren de aterrizaje, pudiendo dificultar aún más el control direccional de la aeronave bajo viento cruzado.

Debe tenerse en cuenta que si la aeronave aterriza con un determinado ángulo de deriva (*o crab angle*) en una pista mojada, la misma tiende a continuar en movimiento con ese mismo ángulo a lo largo del eje central de pista, a diferencia de lo que ocurre en pistas secas donde la aeronave tiende a alinearse con el eje.

Los instantes posteriores a la toma de contacto de la aeronave con la pista suponen los más críticos para un aterrizaje bajo estas condiciones, dado que es cuando mayor influencia tiene el viento cruzado sobre la misma. En dicho caso, el empleo de los frenos o el *steering* de la rueda de nariz para retornar la aeronave al eje central de pista pueden dar lugar al hidroplaneo y una consecuente pérdida de control direccional. De igual forma, el uso de empuje reverso cuando la aeronave se encuentra desalineada con el eje central pista puede también dar lugar a una pérdida de control direccional. Tal es así que para desacelerar de forma segura una aeronave durante un aterrizaje bajo vientos cruzados, se debe utilizar una combinación de controles cruzados (timón de dirección a un lado y alerón al otro, según el lado del cual venga el viento) junto con frenos diferenciales de forma tal de retornar la aeronave al eje central de pista. Regresada y alineada la aeronave con el eje central, se puede proceder a aplicar empuje reverso y la utilización normal de los frenos.



*Figura 42. Recuperación de la aeronave tras el deslizamiento lateral producto de la presencia de Crosswind y empuje reverso. (Fuente: FSF ALAR Briefing Note 8.7, 2009).*

### 3.2.3 Caso de Ejemplo: Excursión de Pista de un MD-82 en Estados Unidos

#### **Reseña del Vuelo**

El 1 de Junio de 1999, a las 23:50 hora central de los Estados Unidos, el vuelo 1420 de American Airlines, una aeronave McDonnell Douglas DC-9-82 (MD-82), matrícula N215AA, se estrella luego de salirse por el final de la pista 4R durante su aterrizaje en el aeropuerto nacional de Little Rock, ubicado en Little Rock, Arkansas.

Luego de abandonar la pista, la aeronave impacta con una serie de tubos que se encontraban a la izquierda del localizador, ubicado a 411 pies del final de pista, atraviesa una cerca perimetral y cae por un terraplén una altura de 15 pies a una zona pantanosa. Finalmente, colisiona con la estructura soporte de las luces de aproximación de la pista 22L. El capitán de la aeronave y 10 pasajeros fallecen, mientras que el resto de la tripulación y 105 pasajeros sufren tanto heridas graves como leves. La aeronave quedó destruida dada las fuerzas de impacto y un incendio post-accidente.



*Figura 43. Posición final de la aeronave accidentada (Estados Unidos, 1 de Junio, 1999).*

## ¿Qué sucedió?

El vuelo 1420 partió del aeropuerto internacional de Dallas/Fort Worth, Texas, aproximadamente a las 22:40 con 139 pasajeros y 6 tripulantes a bordo. Durante su aproximación al aeropuerto de Little Rock, los pilotos reconocen que los vientos presentes estaban cambiando constantemente de dirección y que una alarma de *Wind Shear* había sonado en la aeronave debido a la presencia de una tormenta eléctrica en las proximidades. En un principio, el control de tráfico aéreo les había informado que esperasen la pista 22L para realizar el aterrizaje pero tras los rápidos cambios en la dirección del viento, el capitán solicita el cambio a la pista 4R.

A medida que la aeronave se aproximaba a la pista 4R, una tormenta eléctrica severa cubre el aeropuerto de Little Rock. El último reporte del controlador, previo al aterrizaje, informaba a la tripulación que los vientos soplaban en una dirección de 330° a 28 nudos, lo cual excedía los límites de viento cruzado del MD-82 para un aterrizaje en visibilidad reducida y pista mojada. Con esta información presente, sumada a dos reportes que alertaban de la presencia de *Wind Shear*, la aproximación debió haber sido abandonada en este punto pero el capitán decidió continuar con la misma.

Al querer aterrizar lo antes posible, ambos pilotos se vieron sobrecargados con múltiples tareas a realizar. Esto dio lugar a diversos errores y omisiones, que demostraron ser los últimos eslabones en la cadena de eventos que dio lugar al accidente. Consecuentemente, se olvidaron de armar los sistemas de despliegue automático de spoilers en tierra y el de frenado automático. Ambos sistemas son esenciales para asegurar que la aeronave se detenga dentro de los límites de una pista mojada, especialmente cuando la misma está sujeta también a fuertes ráfagas de vientos cruzados.

Una vez la aeronave aterriza, los pilotos se percatan de que la aeronave se encontraba deslizando. Aun así, ninguno de ellos comprobó que los spoilers no se habían desplegado, por lo que no hubo ningún intento de activarlos manualmente. El resultado fue prácticamente una fuerza nula de frenado dado que aproximadamente, sólo un 15% del peso de la aeronave estaba siendo transferido al tren de aterrizaje. Asimismo, se perdió el control direccional cuando el capitán aplicó demasiado empuje reverso, en contradicción con lo que se establecía en el manual de vuelo.

La aeronave terminó saliéndose por el final de pista, a gran velocidad, para posteriormente impactar con una estructura metálica, soporte de las luces de aproximación. Finalmente, se detuvo a orillas del Río Arkansas.



*Figura 44. Situación Post-impacto de la aeronave.*

### 3.3 Excursiones de Pista asociadas a Decisiones y Acciones Empleadas por la Tripulación

Otro de los grandes grupos de factores asociados con las excursiones de pista son aquellos que tienen que ver con las decisiones y acciones adoptadas por la tripulación durante la operación, así también como las técnicas empleadas por los mismos. Debe notarse que suponen las causas más recurrentes de este tipo de accidentes aéreos.

De la totalidad de las excursiones de pista estudiadas, 388 (62%) de ellas se asocian con uno o más de los factores humanos analizados. De estas excursiones, 263 (68%) ocurrieron tras el aterrizaje, mientras que 125 (32%) tras el despegue. Entre todos los factores estudiados, se destacan los siguientes:

- **Aterrizaje Largo y/o Rápido:** En 134 de 263 (51%) accidentes en aterrizaje la aeronave realizó la toma de contacto con la pista más allá de la denominada zona de visado. Por otro lado, en 69 de 263 (26%) accidentes, la aeronave aterrizó con una velocidad superior a la de referencia para el aterrizaje. Generalmente, ambos tipos de aterrizaje se deben a aproximaciones desestabilizadas y podrían estar asociados el uno con el otro.
- **Despegues Abortados:** En 88 de 125 (70%) accidentes en despegue la tripulación decidió abortar el mismo. En la mayoría de ellos, esta resolución de abortar el despegue se realizó más allá de la denominada velocidad de decisión  $V_1$ , provocando que el remanente de pista no fuera suficiente para frenar la aeronave.
- **Uso tardío o incorrecto de los dispositivos de frenado de la aeronave:** En 57 de 388 (15%) accidentes la tripulación utilizó erróneamente, ya fuera en tiempo o en forma, los sistemas de frenado del avión. Entre estos dispositivos se encuentran los *spoilers*, reversores y frenos del tren de aterrizaje principal. Estas equivocaciones principalmente se atribuyeron a distracciones y desvíos en el uso de las SOP.

El gráfico siguiente resume el número de excursiones de pista asociadas a cada factor humano. Nótese que un mismo accidente aéreo puede tener uno o más factores contribuyentes vinculados.

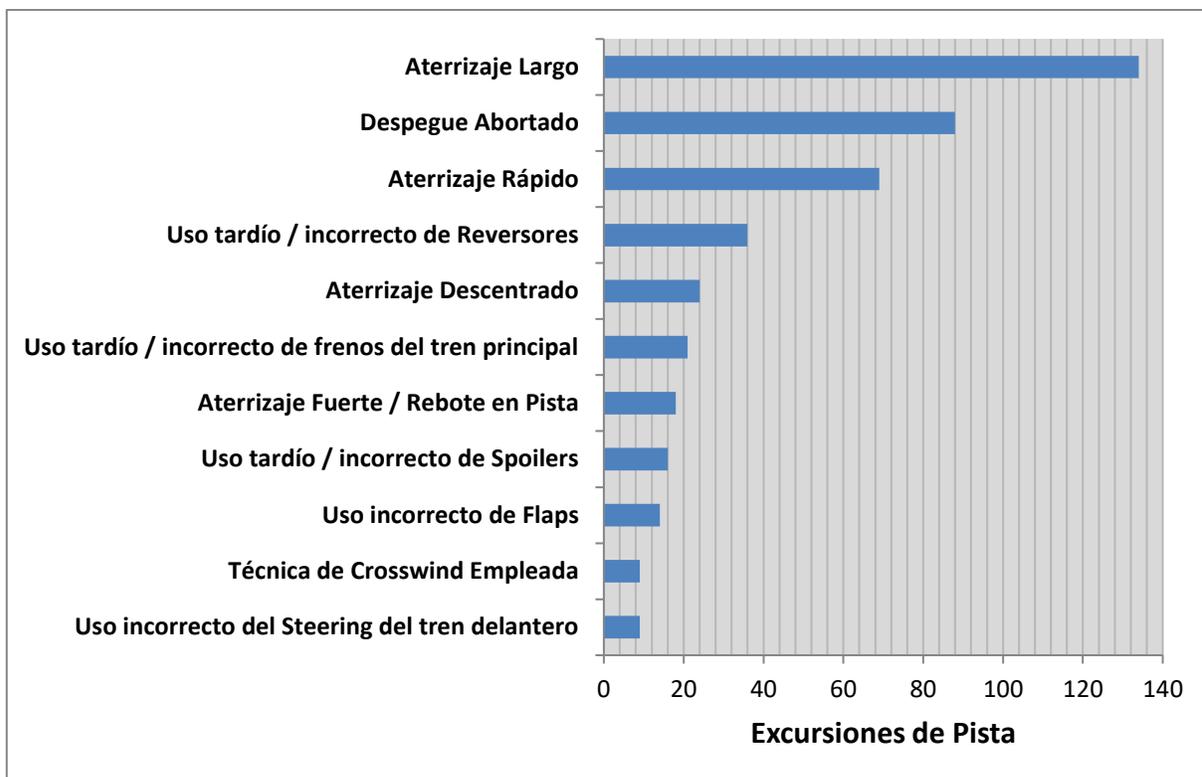
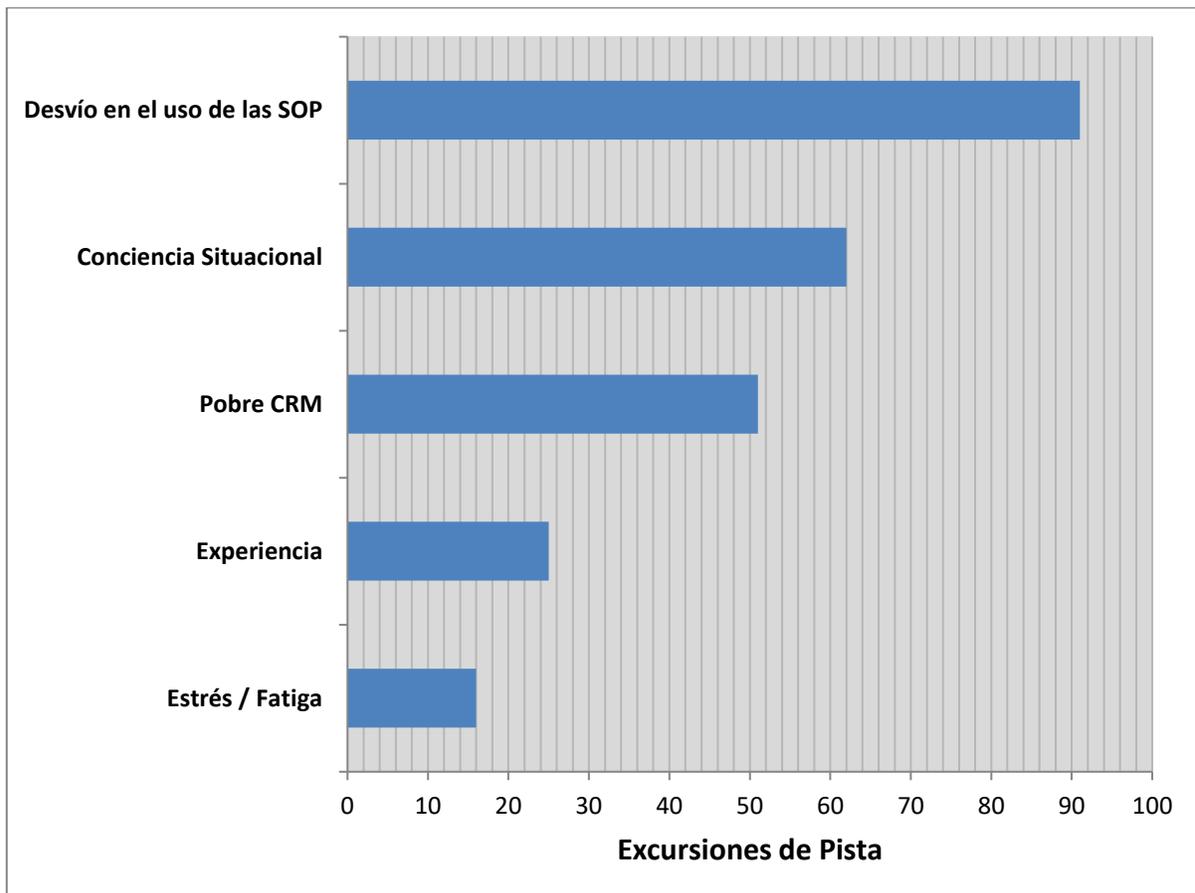


Figura 45. Excursiones de Pista asociadas a decisiones, acciones y técnicas empleadas por la tripulación. (Fuente: Elaboración Propia).

En muchas ocasiones, las malas decisiones o acciones adoptadas por la tripulación son consecuencia de negligencias, omisiones o simplemente fatiga. Por ello mismo, se debe estudiar paralelamente la performance, es decir, el desempeño de la tripulación en cabina. La figura 46 representa una lista de los factores más recurrentes relacionados con la performance de la tripulación en cabina. Entre todos los factores estudiados, se destacan los siguientes:

- Desvío en el uso de las SOP:** En numerosas excursiones de pista, hubo un desvío en el uso, u omisión de ciertos aspectos, de los procedimientos de operación estándar de la aeronave. Debe recordarse que las SOP son diseñadas por las aerolíneas para asegurarse de que las aeronaves sean operadas de la forma más segura, eficiente y en tiempo. Asimismo, a día de hoy existen SOP para enfrentar numerosas eventualidades que pudieran surgir durante un vuelo. Por ello mismo, debe enfatizarse la necesidad de que los pilotos los lleven a cabo. Por ejemplo, las denominadas aproximaciones desestabilizadas, o los aterrizajes largos/rápidos suelen ser resultado de este tipo de error por parte de los pilotos.

- **Conciencia Situacional:** En otro gran número de excursiones de pista, hubo una pérdida, parcial o completa, de conciencia situacional por parte de la tripulación. La misma fue desencadenada por una variedad de hechos como lo pudieron ser el estrés producto de la multiplicidad de tareas, confusiones entre los pilotos o violaciones de las SOP. Esto provocó que la tripulación fuera incapaz de evaluar correctamente la situación en la que se encontraba, ya fuera la aeronave o el aeródromo, resultando en la toma de decisiones erróneas.
- **Pobre CRM:** La gestión de los recursos en cabina es también responsable de diversas excursiones de pista. Es usual que los problemas a los que se deben enfrentar los pilotos estén asociados con un pobre trabajo en conjunto, liderazgo inadecuado o una comunicación inefectiva entre ellos. Tanto los desvíos en el uso de las SOP o la pérdida de conciencia situacional pueden deberse a un pobre CRM.



*Figura 46. Excursiones de Pista asociadas a la performance de la tripulación. (Fuente: Elaboración Propia).*

A continuación se indagará en algunos de los factores mencionados en la figura 45, de forma tal de enfatizar cómo afectan a la seguridad del vuelo y la performance de la aeronave.

### 3.3.1 Aproximaciones Desestabilizadas

En el mundo aeronáutico, particularmente durante la instrucción a pilotos, se suele decir que una buena aproximación conlleva un buen aterrizaje. Tal es así que muchos accidentes ocurridos durante el aterrizaje se deben únicamente a aproximaciones mal realizadas. Entonces, surge la pregunta sobre qué supone exactamente llevar a cabo una aproximación con éxito. De aquí se desprende el concepto de Aproximaciones Estabilizadas.

La Flight Safety Foundation (FSF) en el "*Approach and Landing Accident Reduction*" (ALAR) establece que una aproximación es estabilizada cuando todas las condiciones siguientes se cumplen:

1. La aeronave se encuentra en la senda de vuelo correcta;
2. Solo pequeños cambios de actitud/rumbo son necesarios para mantener la senda de vuelo correcta;
3. La velocidad de la aeronave no es superior a  $V_{REF} + 20$  nudos de velocidad indicada (IAS) ni inferior a  $V_{REF}$ ;
4. La aeronave posee la configuración correcta para el aterrizaje;
5. El régimen de descenso (*Sink rate*) no es mayor a 1000 pies por minuto; si una aproximación requiere una tasa de descenso mayor a 1000 pies por minuto, se debe llevar a cabo una reunión o *briefing* particular;
6. La configuración de potencia es la apropiada para la configuración de la aeronave y no se encuentra por debajo de la potencia mínima para la aproximación establecida por el manual de operación de la aeronave;
7. Todos los *briefings* y listas de chequeo han sido llevadas a cabo;
8. Tipos específicos de aproximaciones también se encuentran estables si cumplen lo siguiente: Aproximaciones realizadas con el sistema de aterrizaje por instrumentos (*Instrument Landing System, ILS*) deben ser voladas dentro de un "punto" de desviación en el Indicador de desviación de Curso/rumbo (CDI) del *Glide Slope* y localizador; en el caso de una aproximación circular, las alas deben estar niveladas en final cuando la aeronave alcance los 300 pies por encima de la elevación del aeródromo;

9. Procedimientos especiales de aproximación o condiciones fuera de lo común que requieran una desviación de los apartados anteriores, deben tener un *briefing* particular por parte de la tripulación.

En condiciones meteorológicas instrumentales (IMC), todos los vuelos deben encontrarse estables a 1000 pies por encima de la elevación del aeródromo de destino, mientras que en condiciones meteorológicas visuales (VMC) deben encontrarse a 500 pies por encima. Si una aproximación se vuelve desestabilizada, ya sea por debajo de 1000 pies en IMC o por debajo de 500 pies en VMC, se debería comenzar inmediatamente con el *Go-Around*. La figura 47 representa los aspectos de una aproximación estabilizada.

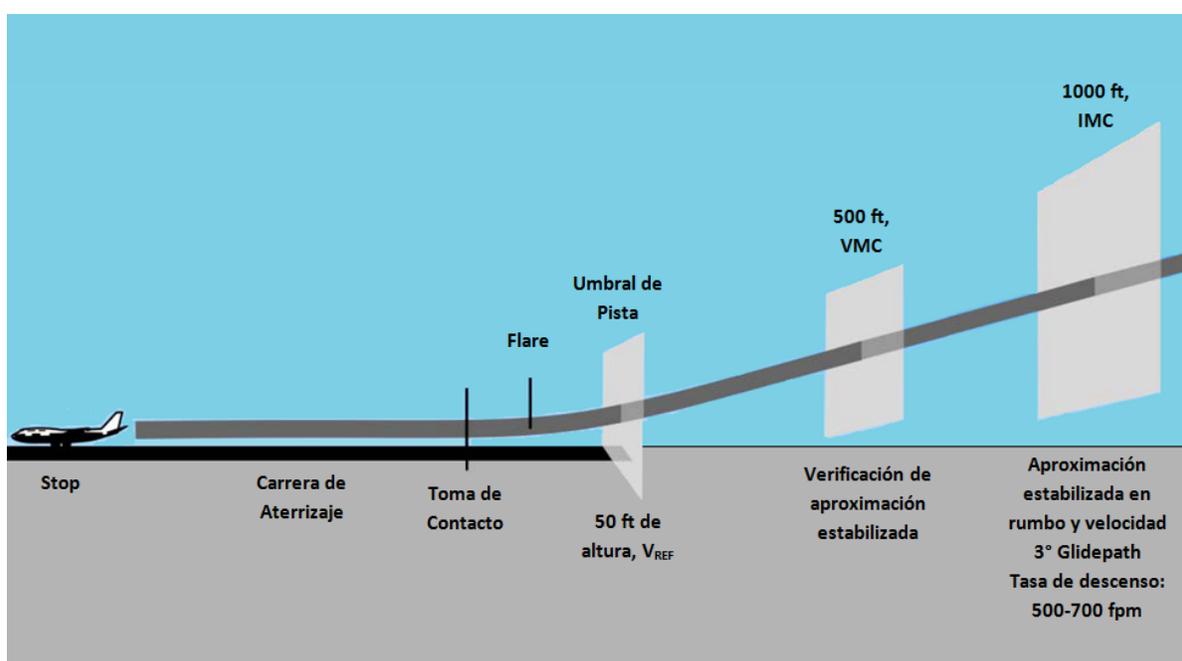


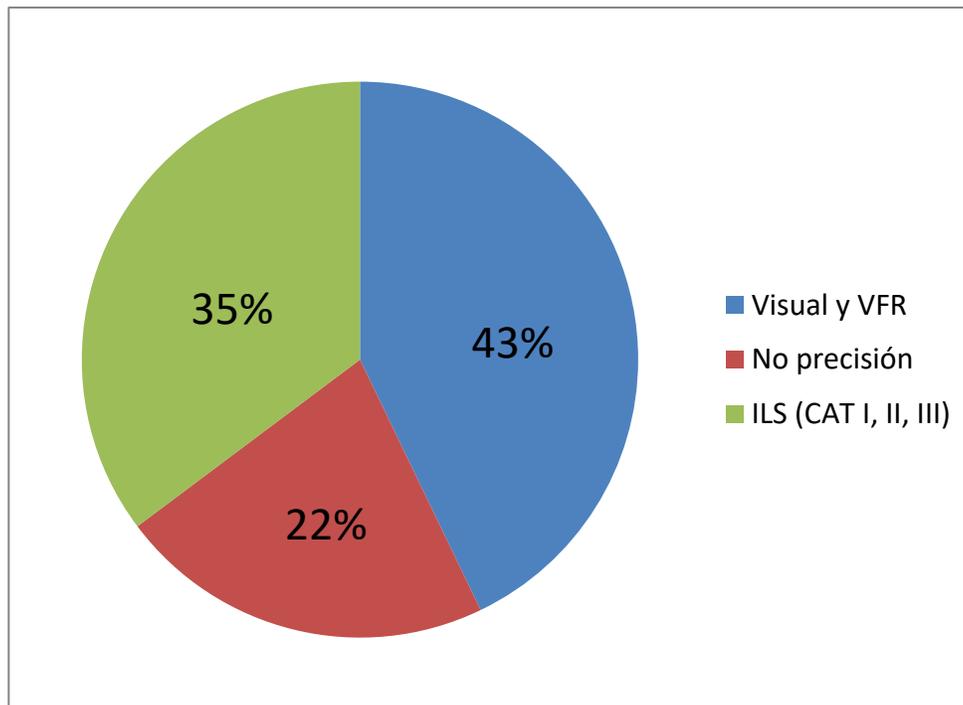
Figura 47. Aspectos de una Aproximación Estabilizada (Fuente: FAA Advisory Circular 91-79A, 2014).

Llevar a cabo una aproximación estabilizada supone múltiples beneficios para la tripulación. Más allá de mejorar la conciencia situacional de los pilotos en lo que se refiere a actitud y velocidad de la aeronave, régimen de descenso o rumbo, también provee lo siguiente:

- Mayor tiempo y atención para monitorear las comunicaciones con el control de tráfico aéreo (ATC), condiciones meteorológicas y funcionamiento de los sistemas;

- Mayor tiempo para que el piloto que no se encuentre volando la aeronave pueda asistir, apoyar y llevar a cabo cross-check sobre las acciones que realice el piloto al mando;
- Parámetros de vuelo definidos: límites de desviación y alturas mínimas de decisión para apoyar la decisión de aterrizar o comenzar un *Go-Around*;
- Seguridad en que la performance durante el aterrizaje se corresponda con la publicada.

Ahora bien, existen diversos tipos de aproximaciones que la tripulación puede llevar a cabo para aterrizar la aeronave. Estadísticamente, queda demostrado que el tipo de aproximación no aumenta el riesgo de que la aproximación sea desestabilizada. Es decir, así como las aproximaciones visuales en conjunto con las VFR son responsables de la mayor cantidad de aproximaciones desestabilizadas (43%), también representan el tipo de aproximación más utilizada durante las excursiones de pista analizadas (50%), aun cuando varíen levemente los porcentajes. La misma tendencia se mantiene para las demás aproximaciones, ya sean de No precisión o del tipo ILS.



*Figura 48. Tipos de Aproximación llevadas a cabo durante aproximaciones no estabilizadas. (Fuente: Elaboración Propia).*

Las aproximaciones desestabilizadas, por lo general, se atribuyen a errores de la tripulación. Entre los factores que mayormente contribuyen a una aproximación desestabilizada se encuentran:

- Fatiga;
- Presión impuesta por el cronograma de vuelos (intentar recuperar el tiempo perdido por retrasos)
- Altitud o velocidad excesiva durante las primeras fases de la aproximación;
- Conocimiento inadecuado de las condiciones de viento y su efecto sobre la velocidad de la aeronave y los desvíos en la senda de planeo (*Glide Path*);
- Pobre coordinación entre la tripulación para establecer correctamente la aproximación;
- Ilusiones ópticas;
- Exceso de confianza y un pobre control sobre las desviaciones de los parámetros de vuelo en relación a aquellos de las aproximaciones estabilizadas;
- Instrucciones del ATC que resultan en volar más alto y/o rápido durante la aproximación.

Una vez definido lo que se entiende por una aproximación desestabilizada, se deben estudiar sus consecuencias.

### **Consecuencias de una Aproximación desestabilizada**

Como se ha podido observar en el apartado anterior, llevar a cabo una aproximación estabilizada implica numerosas ventajas para la tripulación y contribuye a una operación confiable y segura de la aeronave. En contraparte, una aproximación desestabilizada supone un estado de situación de la aeronave no deseado que conlleva una mayor carga de trabajo y presión sobre la tripulación durante una de las fases más críticas del vuelo. Entre otras cosas, reduce el tiempo disponible para completar las listas de chequeo y prepararse correctamente para el aterrizaje, incrementando el riesgo de que se produzca un incidente o, en el peor de los casos, un accidente.

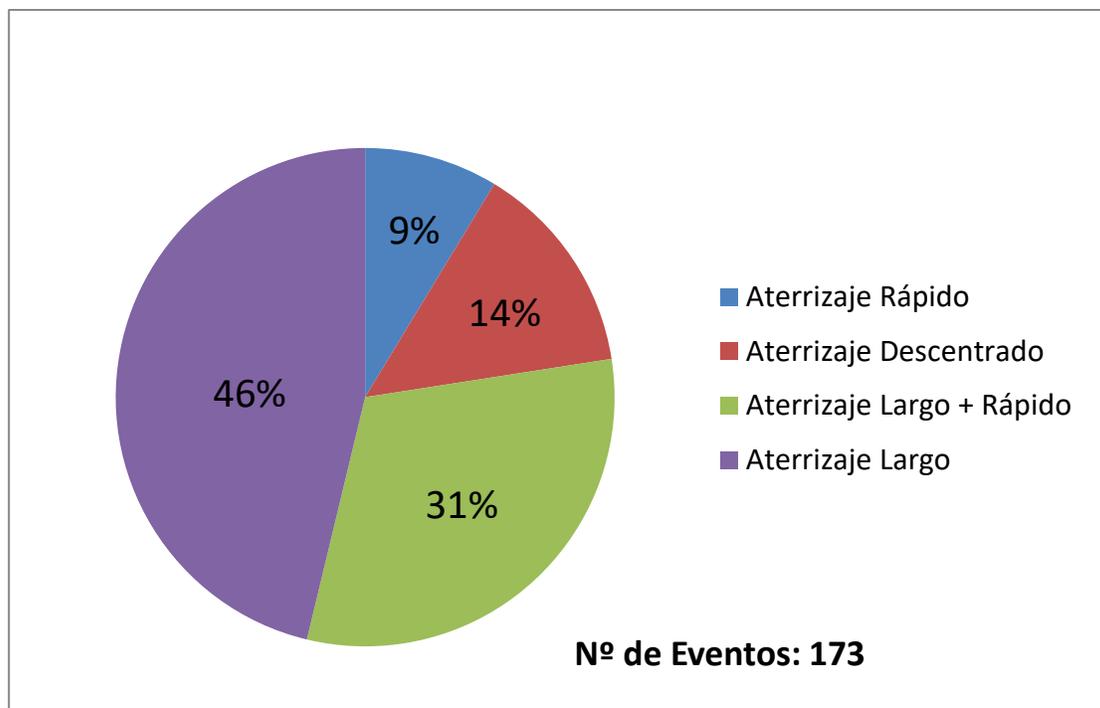
Una aproximación desestabilizada puede resultar en una excursión de pista, principalmente por el final de la misma. Generalmente, tras una aproximación así, la aeronave cruza el umbral de pista a una velocidad y altura excesiva lo que, implícitamente, se traduce en una mayor distancia necesaria para el aterrizaje. En algunos de estos casos, la aeronave no consigue frenar dentro de los límites de la pista dando lugar a una excursión.

Si bien no forman parte de este estudio, hay que destacar que las aproximaciones desestabilizadas pueden también dar lugar a aterrizajes antes del comienzo de la pista (denominados aterrizajes cortos), pudiendo resultar en accidentes tan o más graves que las excursiones de pista. A modo de ejemplo se menciona el accidente del vuelo 214 de Asiana Airlines ocurrido en Julio del 2013 en el Aeropuerto Internacional de San Francisco, donde un mal monitoreo de la velocidad de la aeronave por parte de la tripulación dio lugar a que la misma impactase contra un rompeolas situado antes del umbral de pista.

Existen múltiples desviaciones características de una aproximación desestabilizada. En lo referente a los aterrizajes y las excursiones de pista, los efectos comúnmente asociados con este tipo de aproximaciones son:

- Aterrizaje Rápido: La aeronave aterriza a una mayor velocidad con respecto a la  $V_{REF}$  producto de una mayor velocidad durante la aproximación.
- Aterrizaje Largo: Una aeronave que se encuentre demasiado alto durante la aproximación puede ser que cruce el umbral de pista a una altura superior a los 50 pies recomendados, resultando en un aterrizaje más allá de la zona de visado de la pista. Por otro lado, si la aeronave se encuentra con exceso de velocidad para el aterrizaje, la tripulación puede decidir llevar a cabo un *flare* prolongado provocando un aterrizaje largo.
- Aterrizaje Descentrado: Una aproximación con desviación lateral incrementa las posibilidades de que la aeronave aterrice desplazada hacia la izquierda o derecha del eje central de pista, pudiendo resultar en una excursión lateral de pista. En algunos casos, incluso puede provocar que la aeronave aterrice fuera de pista.

Como muestra la figura 49, más del 75% de las aproximaciones desestabilizadas estudiadas se tradujeron en aterrizajes largos. En algunos de ellos, aproximadamente un 30% del total, la aeronave también aterrizó a velocidades considerablemente mayores a la  $V_{REF}$ .



*Figura 49. Consecuencias de una aproximación desestabilizada. (Fuente: Elaboración Propia).*

### Aterrizajes Largos

Como se ha visto con anterioridad, generalmente una aproximación desestabilizada se traduce en un aterrizaje largo. En la mayoría de los casos se lo atribuye a que la aeronave se encontraba volando alto y/o rápido al cruzar por encima del umbral. Si bien no se hace hincapié en ellos durante este estudio, hay que destacar que existen otros factores que pueden dar lugar a aterrizajes largos. Entre ellos se encuentran la pendiente de pista, la visibilidad o el ancho de pista que puede provocar ilusiones ópticas.

La velocidad de aproximación de la aeronave puede tener un gran impacto sobre la longitud de aterrizaje. Si la aeronave sobrevuela la cabecera de pista con exceso de velocidad, en relación la velocidad de referencia  $V_{REF}$ , podría resultar en que se aterrice pasada la zona de visado. Asimismo, una mayor velocidad de aterrizaje implica un mayor tiempo de frenado, lo que se traduce en un aumento en la distancia de aterrizaje necesaria.

Un aterrizaje largo puede ser también consecuencia del empleo de un flare prolongado. Es importante realizarlo a la altura correcta y mantener la actitud adecuada hasta que se produzca la toma de contacto con la pista. Cuando se comienza el flare, el régimen de

descenso de la aeronave se ve reducido a través de un aumento en el ángulo de ataque, resultando también en una pérdida de velocidad. Si la aeronave se encuentra en final, sobre el umbral de pista, con exceso de velocidad, llevar a cabo un flare para perder este exceso podría suponer la utilización de cientos de metros de pista. Según la FAA, reducir 10 nudos la velocidad de la aeronave a través del flare conlleva la utilización de aproximadamente 610 metros de pista. En un marcado contraste, reducir esta velocidad desacelerando la aeronave en tierra mediante los distintos dispositivos de frenado de los que dispone, implicaría apenas un 10% de dichos 610 metros.

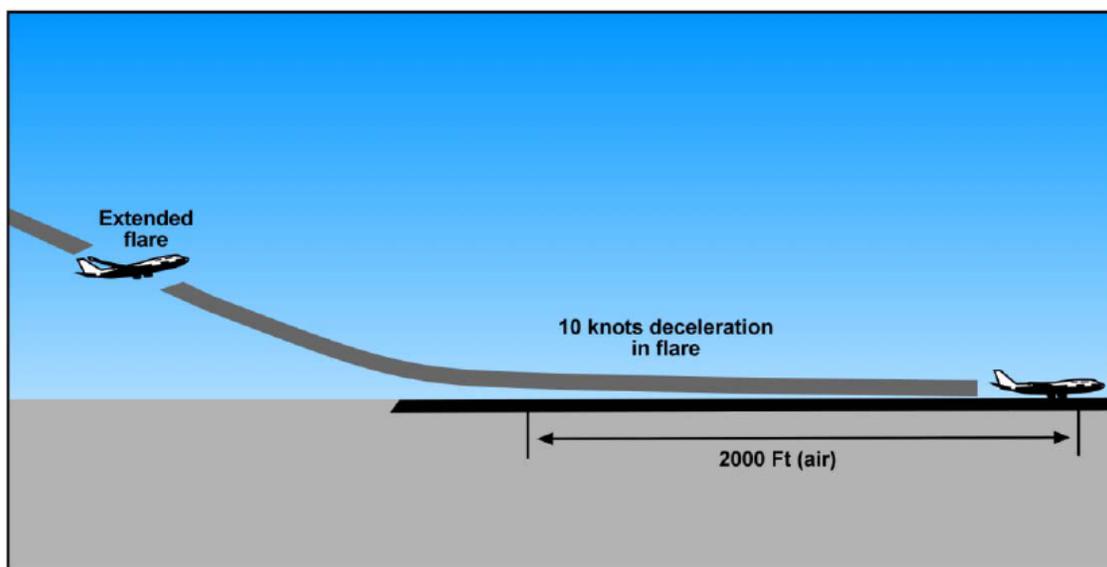


Figura 50. Efectos de un flare prolongado (1).

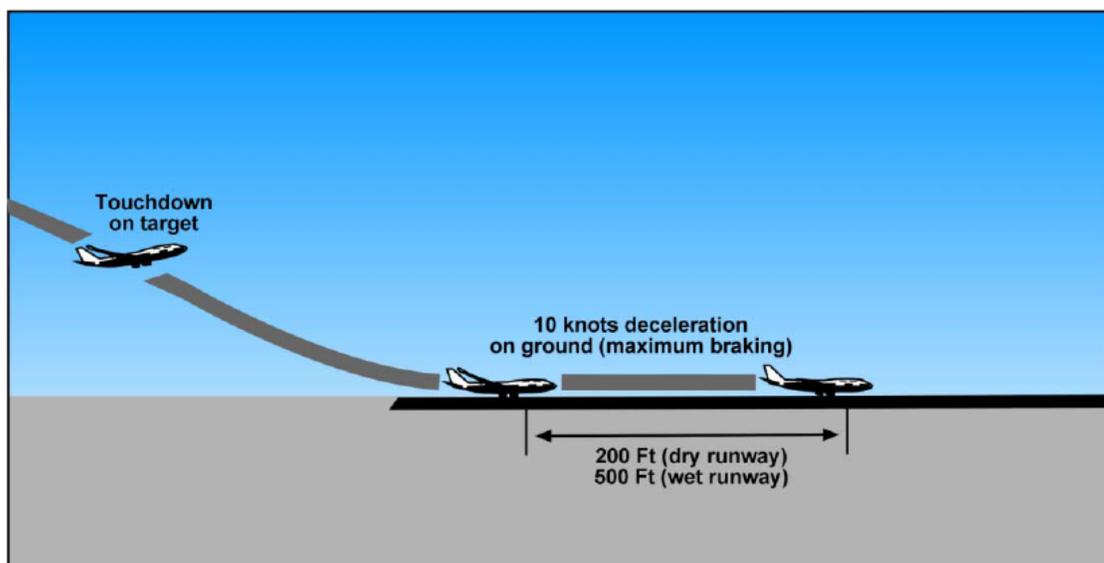
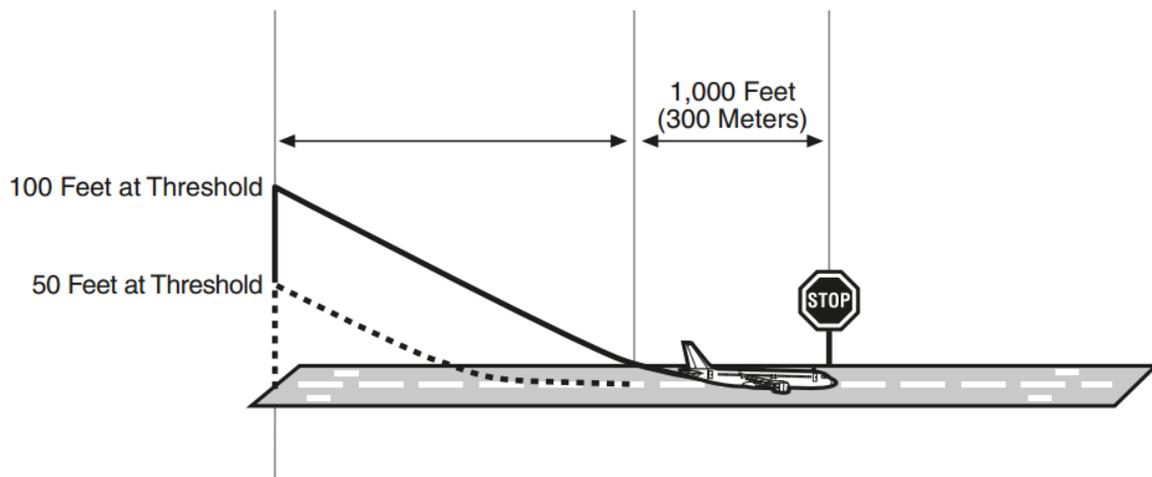


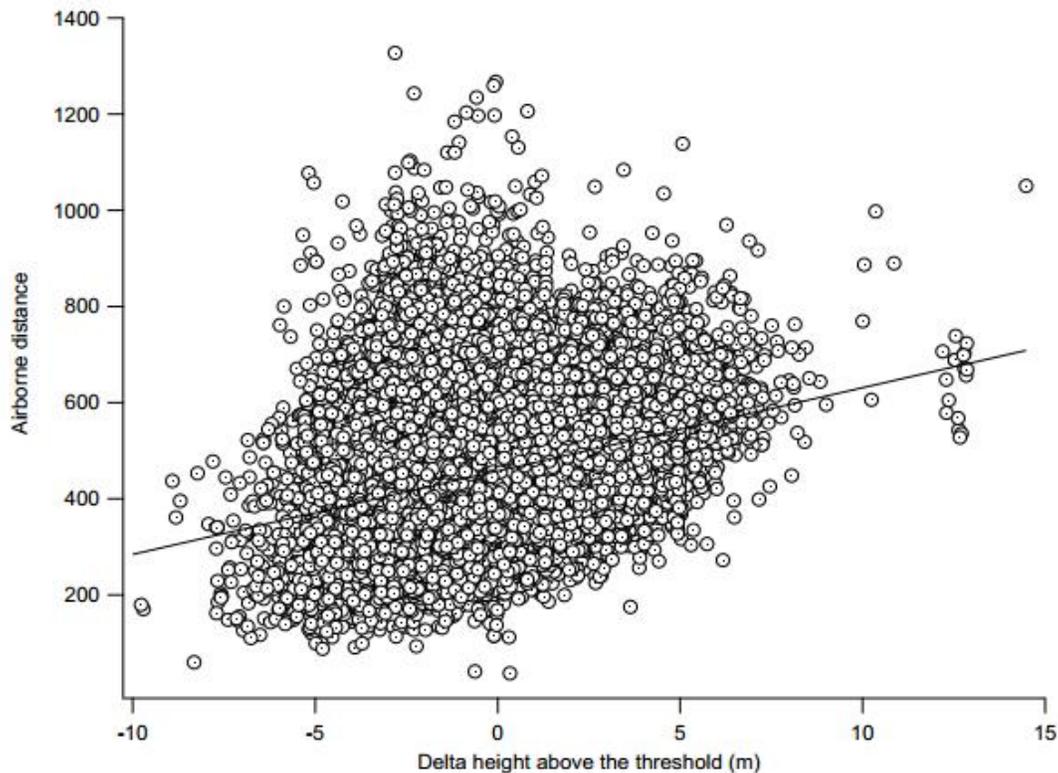
Figura 51. Efectos de un flare prolongado (2).

Por otro lado, la altura a la cual la aeronave cruza el umbral de pista también tiene un efecto significativo sobre la longitud necesaria para frenar. Sobrevolar la cabecera por encima de la altura recomendada puede dar lugar a un aterrizaje largo. Se considera que una aeronave se encuentra volando alto sobre la cabecera cuando su altura excede en 4,5 metros (15 pies) la estándar de cruce del umbral, especificada en los manuales de vuelo (50 pies en el Radio Altimetro). En estos casos, se demora la toma de contacto de la aeronave lo que implica una mayor longitud de pista utilizada para el aterrizaje. Nuevamente, según la FAA, por cada 3 metros (10 pies) por encima de la altura estándar de 15 metros (50 pies) se añaden 61 metros (200 pies) en la distancia de aterrizaje de la aeronave.



*Figura 52. Efectos de un exceso en la altura de cruce del umbral de pista.*

Sumado a lo anterior, un estudio llevado a cabo por la NLR Air Transport Safety Institute en aeronaves de fuselaje angosto muestra como por cada metro que la aeronave se encuentre por encima de la altura estándar sobre la cabecera, la distancia de sobrevuelo de la pista hasta la toma de contacto se incrementa en el orden de 15-20 metros.



*Figura 53. Influencia de la altura de cruce del umbral de pista sobre la distancia de sobrevuelo hasta la toma de contacto (Fuente: National Aerospace Laboratory NLR, 2011).*

Por sí solo, un aterrizaje largo no siempre es peligroso para la seguridad del vuelo. Por ejemplo, si una aeronave turbohélice, de mediano porte, aterriza sobre una pista muy larga, un aterrizaje largo no supondría automáticamente dificultades para frenar la aeronave. Sin embargo, a medida que la distancia disponible para aterrizar se reduce, los aterrizajes largos se vuelven más comprometedores.

Por otro lado, en el caso en que la pista se encuentre mojada o contaminada, como se explica en el apartado 3.2.1, las distancias de frenado de la aeronave se ven considerablemente afectadas. Por ende, si a una aproximación desestabilizada se le suma el hecho de que la pista posee un bajo coeficiente de fricción, el problema se acrecienta notoriamente y la posibilidad de una excursión de pista se vuelve aún más real.

### 3.3.2 Despegues Abortados

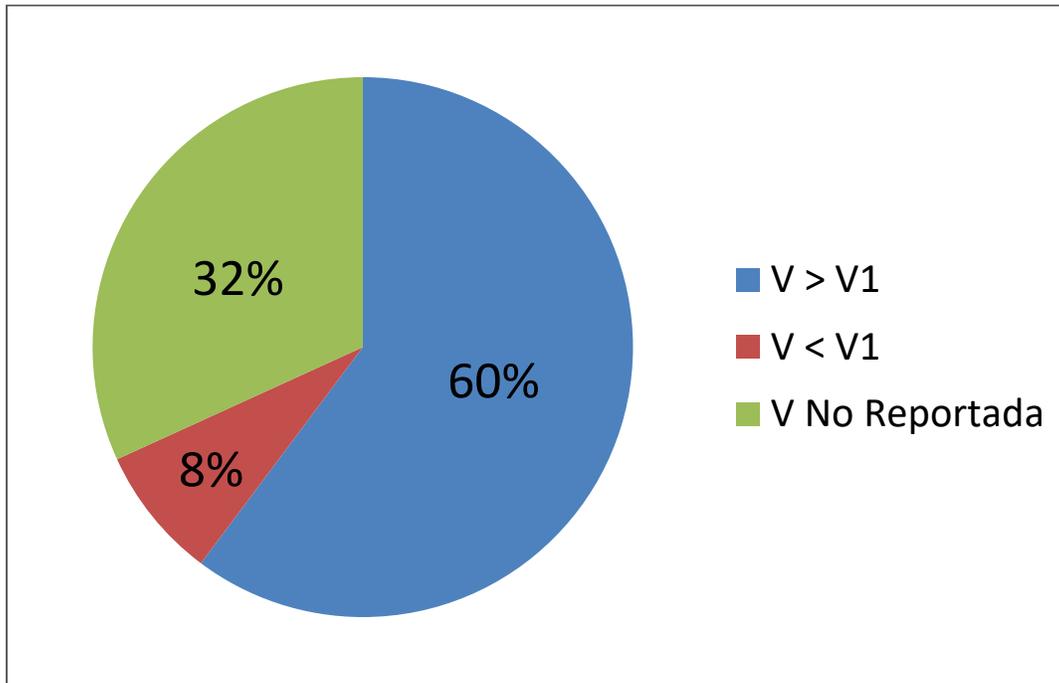
Estudiando únicamente las excursiones de pista ocurridas durante el despegue, se puede apreciar como la gran mayoría son consecuencia de un despegue abortado. Estadísticamente, se aborta un despegue cada 1800 despegues (*Fuente: NLR-ATSI*). Por ende, si bien puede suceder y lo más probable es que en su carrera un piloto se vea envuelto en uno o más despegues abortados, son eventos poco frecuentes. La gran mayoría de despegues abortados ocurren a bajas velocidades, siendo inherentemente más seguros y menos demandante para las tripulaciones. De ahí que prácticamente nunca resulten en un accidente. Por otro lado, existe un porcentaje reducido de despegues abortados que suceden a altas velocidades y generalmente, resultan en excursiones de pista.

En algún punto durante la carrera de despegue el piloto debe tomar la decisión de “*Go/No Go*”, es decir, de continuar con el despegue o abortarlo, iniciando las maniobras de frenado correspondientes de la aeronave. Para ello existe la velocidad de decisión denominada  $V_1$ . Operacionalmente supone la velocidad mínima, dada la falla del motor crítico a  $V_{EF}$ , a partir de la cual el piloto puede continuar el despegue de manera segura dentro de la distancia de despegue disponible (TODA), y la velocidad máxima a partir de la cual se deben realizar las primeras acciones para detener la aeronave dentro de la distancia de Aceleración-Parada disponible (ASDA). Esta velocidad de decisión es distinta para cada despegue a realizar y depende de numerosas variables:

- Peso de la Aeronave
- Configuración para el despegue de la aeronave (Posición de Flaps y Slats, Empuje a utilizar, etc.)
- Condiciones Meteorológicas (Tailwind, Crosswind, presión, densidad, etc.)
- Distancias declaradas de Pista
- Condición de Pista (seca, mojada, inundada, etc.)
- Pendiente de Pista
- Anti-Skid operativo/inoperativo

En otras palabras, toda decisión de abortar un despegue debe ser tomada previa a alcanzar dicha velocidad  $V_1$ . Particularmente, toda falla de motor previa a  $V_1$  debe resultar siempre en un despegue abortado. Por encima de  $V_1$ , se debe continuar el despegue a menos que la tripulación considere que la seguridad del vuelo se ha visto seriamente comprometida, dado que podría darse el caso de que el remanente de pista no sea el suficiente para frenar la aeronave con éxito.

Como se puede observar en la figura 54, de todos los despegues analizados que resultaron en excursiones de pista, en la gran mayoría la decisión de abortar el despegue fue llevada a cabo luego de V1 (aproximadamente en un 90% de los casos si no se contabilizan aquellos despegues donde la velocidad de decisión no fue reportada).



*Figura 54. Velocidades a las que se toma la decisión de abortar el despegue (en relación a V1). (Fuente: Elaboración Propia).*

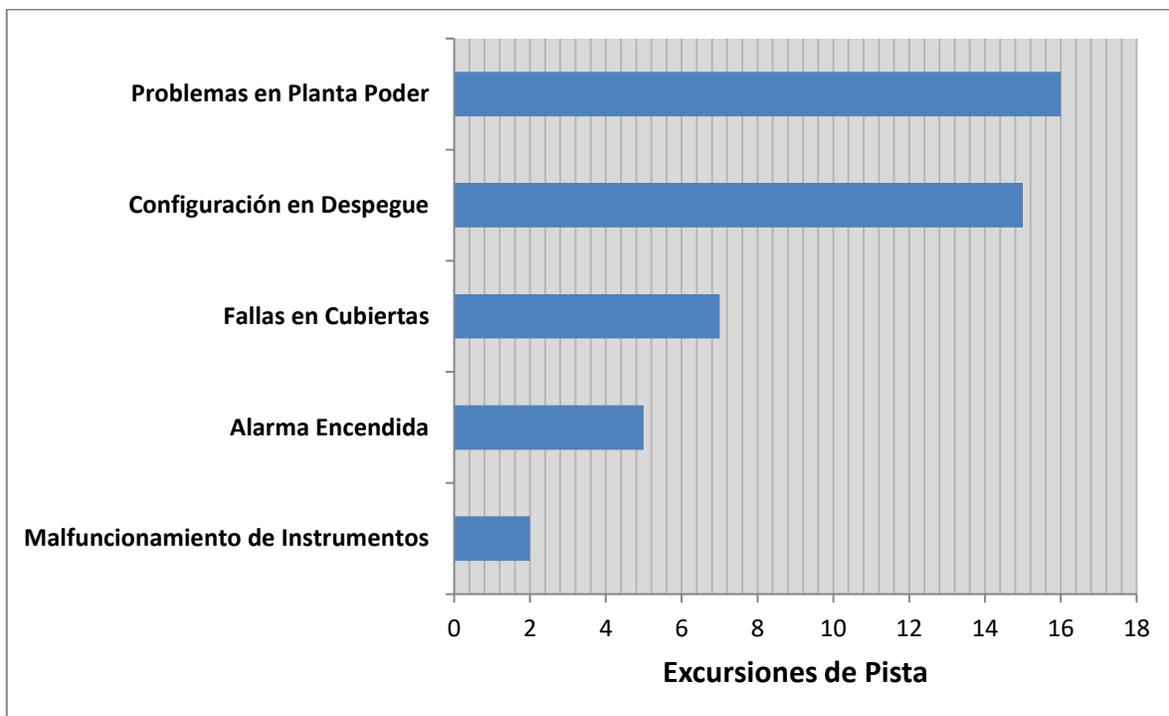
La pregunta que surge a continuación es entonces por qué se abortan los despegues después de V1 cuando, en teoría, las tripulaciones están instruidas para evitar hacerlo producto del riesgo que suponen para la seguridad del vuelo y sus pasajeros.

Existen diversas razones que llevan a la tripulación a abortar un despegue por encima de V1. A continuación se mencionan algunas de las que se identificaron en este estudio:

- **Problemas en la Planta Poder:** Hace referencia a fallas intrínsecas al motor, como lo pueden ser entradas en pérdida del compresor, rotura de algún componente o presencia de fuego. En dicho grupo también se tienen en cuenta aquellas fallas de motor producto del impacto o la ingesta de algún objeto ajeno a la aeronave o de algún ave. En ambos casos, la falla repercute en el empuje de la aeronave.

- Configuración de la Aeronave para el despegue: En muchas ocasiones, el despegue se aborta dado que la aeronave no consigue rotar en VR producto de una mala configuración de la misma. Entre los errores más comunes se destacan el exceso en el peso máximo de despegue (MTOW), el centro de gravedad (CG) fuera de los límites establecidos, una incorrecta posición de flaps y slats o mal compensado.
- Fallas en las cubiertas del tren principal o delantero de la aeronave.
- Encendido de Alarmas dentro de la cabina.
- Malfuncionamiento de los instrumentos de cabina: Este tipo de fallas suele estar asociado con un bloqueo en las entradas de aire de los tubos Pitot y las tomas estáticas que se traducen en mediciones erróneas de velocidad.

Como se puede observar en la figura 55, los despegues abortados son en la mayoría de los casos consecuencia de un problema en la planta poder de la aeronave o una configuración para el despegue incorrecta, generalmente asociado con un desvío en los procedimientos de operación (SOP). Debe recordarse que un despegue abortado puede ser consecuencia de una o más causas.



*Figura 55. Razones por las que se abortan los despegues después de VI. (Fuente: Elaboración Propia).*

### **Decisión de Abortar luego de V1: ¿Acertada o Equivocada?**

En la mayoría de los casos se pudo determinar que la decisión de abortar habría sido errónea dado que la aeronave se encontraba en condiciones de volar. Aun así, no es posible predecir con total certeza qué hubiera sucedido si en dichos casos la aeronave hubiese continuado con el despegue. Asimismo, resulta muy complicado para el investigador del accidente ponerse en la piel de los pilotos y visualizar y percibir toda la cadena de eventos que propiciaron la decisión de abortar el despegue. En este apartado se pretende indagar un poco más en esta enorme dificultad en la que se ve envuelta la tripulación cuando debe adoptar la decisión de si continuar o no con el despegue.

Así como sucede en los manuales de operación o durante la mayoría de los programas de instrucción de pilotos en simuladores, generalmente se relacionan los despegues abortados a fallas en la planta poder de la aeronave. Esto condiciona a los pilotos a pensar que la única razón atribuible a este tipo de eventos son problemas en los motores y por lo tanto, no estar perfectamente preparados para reconocer otro tipo de fallas durante el despegue. Como se pudo observar en la figura 55, si bien el número de despegues abortados atribuidos a fallas en los motores es el más recurrente, apenas supone un 30% del total. En otras palabras, en más de dos tercios de las excursiones de pista tras despegues abortados, se disponía de la potencia máxima para el despegue. Por ello, debe enfatizarse durante la instrucción de las tripulaciones el estudio de los demás tipos de anomalías que puedan presentarse durante el despegue y cómo reaccionar ante ellas.

Por otro lado, es prácticamente imposible simular todas las posibles fallas a las que puede verse expuesto un motor, ya sea turbofan, turbohélice o alternativo. Aceleraciones, ruidos o vibraciones percibidas por la tripulación son únicas para cada evento y consecuentemente, son difíciles de simular. Por ende, las tripulaciones no siempre son capaces de identificar y entender problemas en los motores, dando lugar a decisiones incorrectas.

En cuanto a los despegues abortados producto de una incorrecta configuración de despegue de la aeronave, hay que destacar que un gran número de ellos podría haberse evitado de haber seguido los procedimientos de operación establecidos o haber planificado a conciencia el vuelo. La mayoría de ellos se atribuyen a un error en el cálculo del peso de la aeronave (suele excederse el MTOW) o una configuración errónea para el despegue en los dispositivos hipersustentadores (flaps y slats). En ambos casos, se traduce en que la aeronave no rote para la VR calculada.



*Figura 56. Excursión de Pista de un B737-200 tras un despegue abortado (Argentina, 31 de Agosto de 1999).*

Otro de los grandes responsables de los despegues abortados después de V1 son las fallas en las cubiertas, particularmente del tren principal. Este tipo de fallas puede resultar difícil de identificar desde la cabina y por lo tanto, la decisión de *Go/No Go* pasa a ser una decisión complicada. La explosión de una cubierta del tren de aterrizaje puede ser tan ruidosa como para ser confundida con la entrada en pérdida del compresor de un motor, o puede no escucharse por completo. Por otro lado, las fallas o roturas en las cubiertas pueden dificultar el control direccional de la aeronave, pueden provocar vibraciones dificultando la lectura de los instrumentos o, nuevamente, pueden no sentirse en absoluto.

Abortar un despegue a gran velocidad con un neumático fallado supone una decisión muy arriesgada. Las probabilidades de una excursión de pista aumentan simplemente porque se pierde la fuerza de frenado provista por una rueda, aumentando la distancia necesaria para frenar. En el caso de que más cubiertas fallaran durante el intento de detener la aeronave, la fuerza total de frenado disponible se vería reducida aún más. Es por esto que, generalmente, en dichos casos es más seguro continuar con el despegue. Tal es así que el fabricante Airbus emitió una recomendación en la cual establece que en caso de que haya una falla de

cubierta en una única rueda, y sin evidencia de daños colaterales, el despegue debe ser continuado si la velocidad de la aeronave es mayor A  $V_1 - 20$  kts.

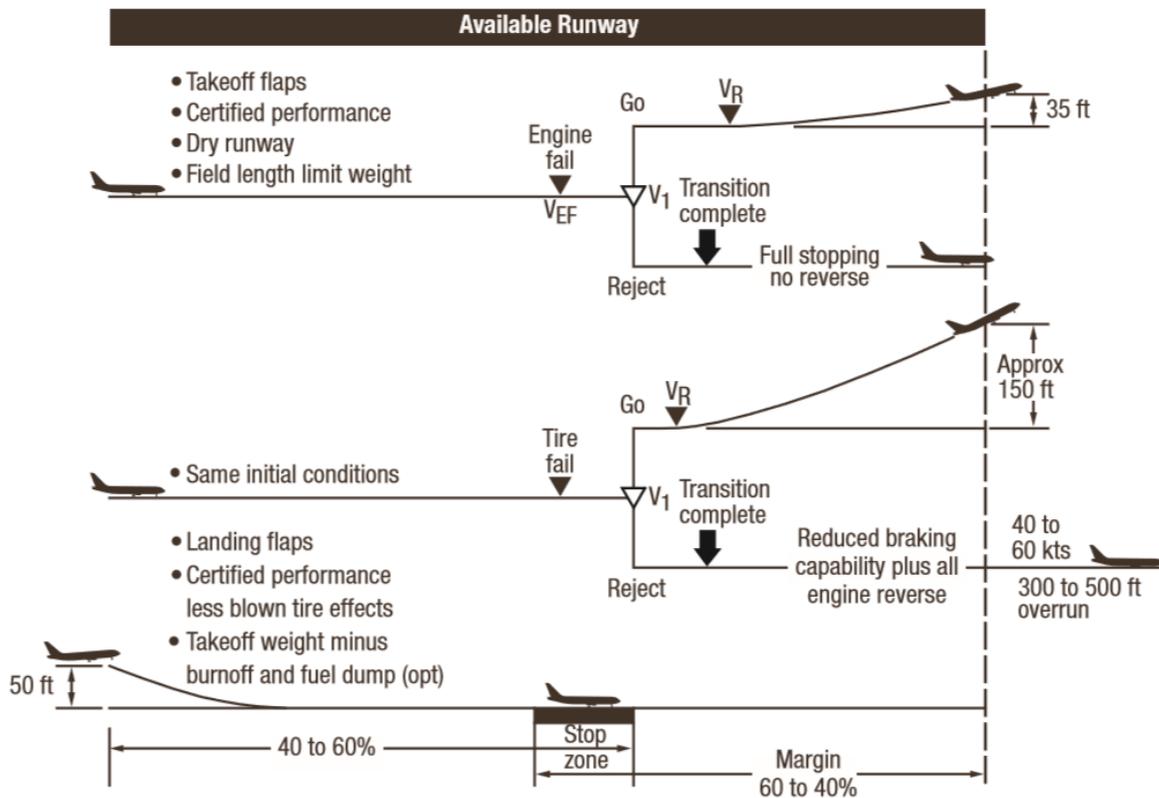


Figura 57. Márgenes asociados con continuar un despegue tras una falla en una cubierta. (Fuente: Takeoff Safety Training Aid, FAA).

Así como es crítico poder identificar la falla para así tomar la decisión más acertada, igual de importante es la respuesta, especialmente si se trata de un despegue abortado. En otras palabras, tras un despegue abortado, deben tomarse en tiempo y forma las acciones respectivas de forma tal de minimizar en cuanto sea posible la probabilidad de una excursión de pista.

Se comprobó como en algunos de los despegues abortados, la tripulación se demoró varios segundos, ya fuera en reaccionar ante la falla o en adoptar la decisión de abortar. Hay que destacar que cada uno de estos segundos de demora en comenzar las acciones de frenado de la aeronave supone una gran distancia recorrida en la pista dada las altas velocidades. Ahora bien, no es realista esperar que ante una adversidad compleja los pilotos puedan, con criterio, tomar una decisión al instante y menos cuando se encuentran próximos o sobre  $V_1$ . Un estudio llevado a cabo por la Universidad de Cranfield en el Reino Unido, en un Boeing

747-200, demuestra cómo, en promedio, varía el tiempo de respuesta desde que se llama a abortar el despegue hasta que el piloto reacciona, según en qué momento se produzca a lo largo de la carrera de despegue. Debe tenerse en cuenta que a este tiempo habría que sumarle aquel existente entre que se produce la falla y la tripulación lo detecta, siendo por lo general de aproximadamente dos segundos.

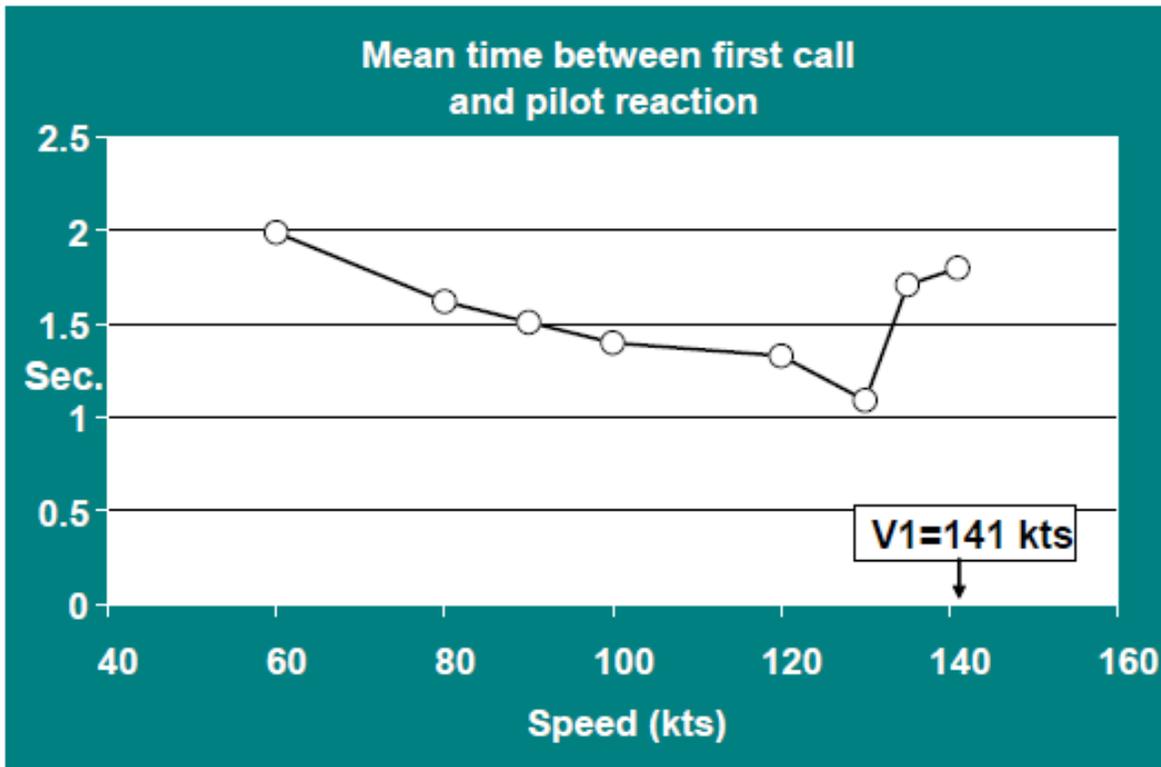


Figura 58. Tiempo de reacción del piloto en relación a la velocidad con respecto al suelo de la aeronave (Fuente: Cranfield University, UK, 2003).

Por último se menciona que, así como sucede cuando la aeronave aterriza, la condición en la que se encuentra la pista afecta tanto a la aceleración como desaceleración de la aeronave. Es responsabilidad del operador afectar las velocidades de despegue para tener en cuenta el estado de pista. Particularmente, en el caso de un despegue abortado, cualquier tipo de contaminación sobre la superficie de la pista que reduzca el coeficiente de fricción incrementará la longitud necesaria para poder frenar la aeronave, volviendo aún más críticos aquellos que se realicen después de V1.

### 3.3.3 Uso incorrecto de los dispositivos de frenado de la aeronave

Las excursiones de pista suelen atribuirse a la incapacidad por parte de la tripulación de frenar la aeronave dentro de los límites de la pista, ya sea por una razón u otra. Es evidente entonces que los dispositivos de frenado que posee la aeronave juegan un rol importante en este tipo de accidentes. De ello se desprende otro de los factores comúnmente asociados con las excursiones de pista que tiene que ver con la utilización inadecuada durante la carrera de aterrizaje, o tras despegues abortados, de dichos dispositivos. En particular, este estudio se centra entre ellos:

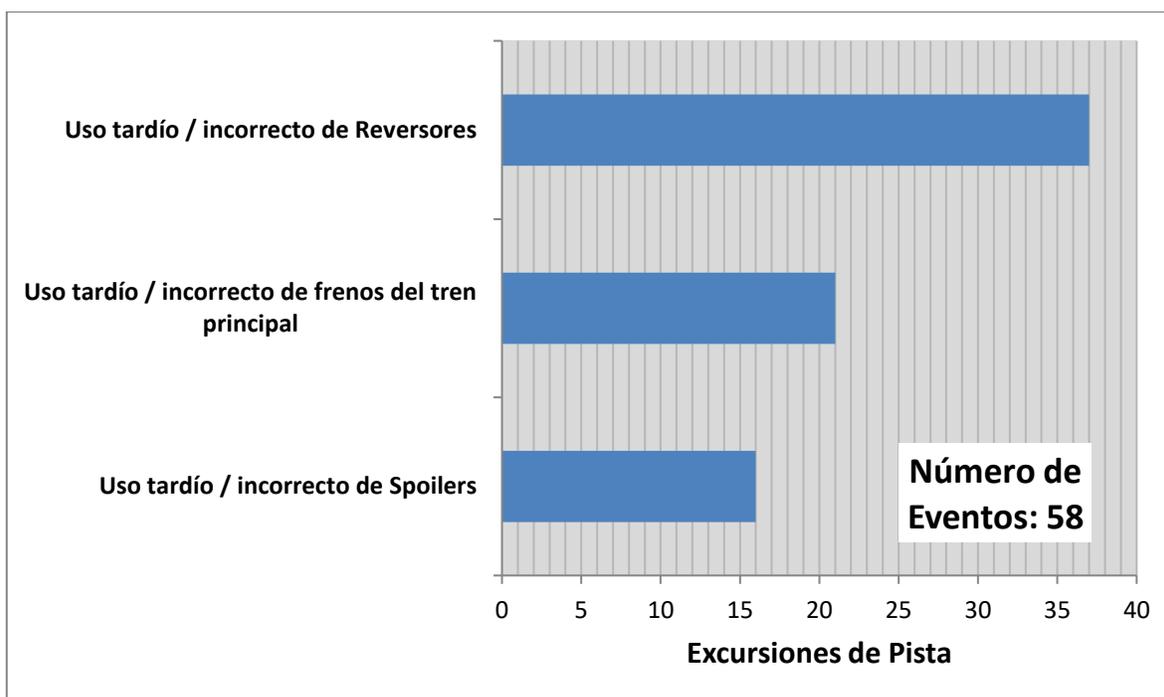
- Reversores
- Spoilers
- Frenos del tren principal

Si bien los flaps no son técnicamente dispositivos de frenado, sino que se utilizan para generar sustentación a bajas velocidades, cabe mencionar que un uso incorrecto de los mismos podría también reducir la efectividad de los demás sistemas de frenado. Por ejemplo, una mala configuración de flaps puede provocar que la aeronave aterrice excesivamente rápido y, en caso de que la pista se encuentre contaminada, podría dar lugar a un hidroplaneo.



*Figura 59. Dispositivos de frenado activos en un B787-9 tras un aterrizaje.*

De la totalidad de las excursiones de pista analizadas en donde se encontraron uno o más factores humanos contribuyentes, en 58 de ellas (aproximadamente un 15%) el uso tardío o incorrecto de los dispositivos de frenado fue factor. En la gran mayoría de ellos, la excursión de pista se podría haber evitado si estos dispositivos hubiesen sido correctamente utilizados. Aun cuando un 15% no es un número que se deba subestimar, hay que destacar que podría ser considerablemente mayor de no ser por la escasez de información en muchos de los accidentes analizados. La figura 60 muestra el reparto de dichos causales sobre el número de eventos analizados. Nótese que los accidentes pueden estar asociados a uno o más factores.



*Figura 60. Excursiones de pista asociadas a una utilización inadecuada de los dispositivos de frenado de la aeronave. (Fuente: Elaboración Propia).*

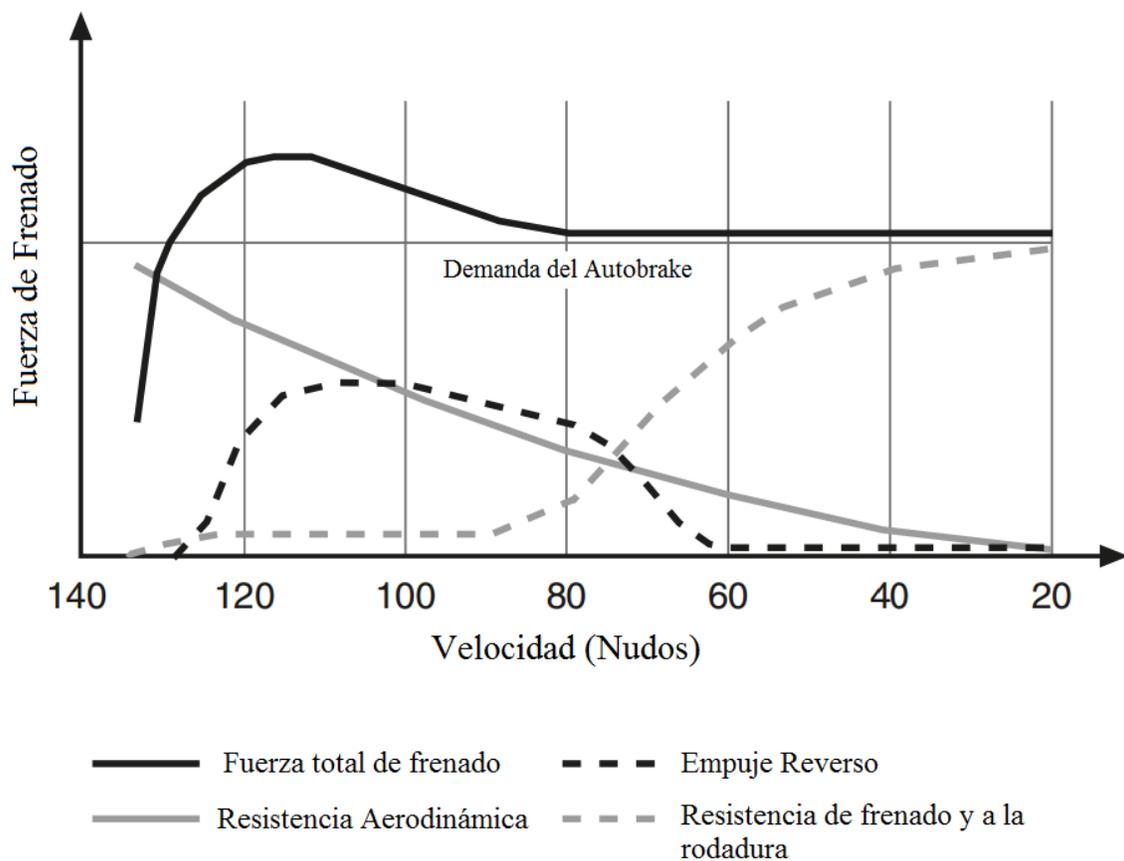
Debe tenerse en cuenta que la performance de la aeronave durante el aterrizaje se calcula a través de métodos que tienen en cuenta y asumen un uso apropiado y en tiempo de los frenos y reversores (en el caso de los reversores hay que mencionar que no se tiene en cuenta su utilización a la hora de despachar la aeronave).

Antes de analizar el impacto que tiene el uso incorrecto de los sistemas de frenado del avión, deberá entenderse cómo se relacionan entre si las distintas fuerzas responsables de desacelerar la aeronave, desde la velocidad de aterrizaje hasta la de rodaje. En un aterrizaje típico, tras la toma de contacto, los spoilers automáticamente se despliegan (previamente

debieron ser armados) y se aplica el máximo empuje reverso. La fuerza total de frenado de la aeronave es entonces función de otras tres fuerzas:

- Resistencia Aerodinámica (incluye resistencia parásita y resistencia de los frenos aerodinámicos, spoilers y flaps);
- Empuje Reverso;
- Resistencia a la rodadura y de frenado.

La figura 61 muestra el efecto relativo de cada una de estas fuerzas a medida que la velocidad de la aeronave disminuye.



*Figura 61. Efecto relativo de las fuerzas de frenado durante el aterrizaje conforme la aeronave desacelera.*

A altas velocidades, se puede apreciar como la resistencia aerodinámica en conjunto con el empuje reverso suponen la mayor parte de la fuerza total de frenado. Ahora bien, a medida que la velocidad disminuye, dicha resistencia aerodinámica también lo hace (es función de ella) y la eficiencia en los reversores se reduce. Entonces, comienza a ganar en importancia

la fuerza de frenado proveniente de los frenos del tren principal de la aeronave. Dependiendo en qué modo este seleccionado el "Autobrake" o frenos automáticos (LOW (1), MED (2), MAX (3)), los frenos del tren principal comienzan a contribuir a una velocidad u otra. Para el caso de la figura 61, se puede apreciar como en un principio dado que la fuerza total de frenado excede el régimen del autobrake seleccionado, los frenos del tren principal no se encuentran operativos (la resistencia que se observa es a la rodadura). Cuando la fuerza total de frenado es inferior al modo seleccionado en el autobrake, los frenos del tren principal empiezan a contribuir a la desaceleración de la aeronave y la fuerza total de frenado.

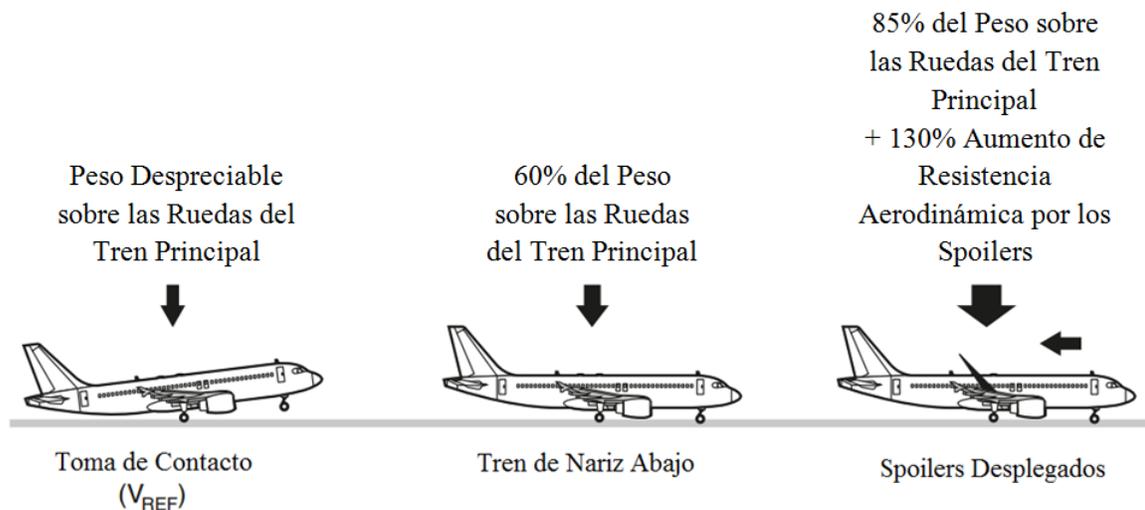
Por lo tanto, las tres fuerzas de frenado son críticas para una correcta y segura desaceleración de la aeronave. Es crítico que tanto los spoilers como el empuje reverso sean desplegados lo antes posible una vez la aeronave toma contacto con la pista, de acuerdo a los procedimientos de operación establecidos por el fabricante.

### **Consecuencias del uso incorrecto de los dispositivos de frenado de la aeronave**

Los spoilers o frenos aerodinámicos funcionan principalmente como multiplicadores de la resistencia aerodinámica y reductores de la sustentación. Al disminuir la sustentación, se incrementa el peso sobre las ruedas del tren de aterrizaje, mejorando el desempeño de los frenos y por lo tanto, reduciendo la distancia necesaria para el frenado de la aeronave.

Por lo general, el despliegue de los spoilers se realiza automáticamente una vez el tren de aterrizaje principal toma contacto con la pista (configuración WOW) o a partir de la activación de los reversores de empuje (siempre y cuando previamente fueron armados durante la aproximación). Este despliegue automático posee dos ventajas: en primer lugar permite que se desplieguen en el instante adecuado de forma tal de proveer la máxima eficiencia al frenado de la aeronave y en segundo lugar, reduce la carga de trabajo de los pilotos durante el aterrizaje.

Desplegar los spoilers una vez lograda la toma de contacto con la pista incrementa en un 50-70% la fuerza total de frenado de la aeronave. Este porcentaje se acrecienta aún más en pistas contaminadas, donde el coeficiente de fricción de la pista se ve considerablemente reducido. En consecuencia, es indispensable un apropiado despliegue de los spoilers. Desplegarlos tarde o directamente, olvidarse de desplegarlos puede ser la diferencia entre una parada segura y una excursión de pista.



*Figura 62. Efecto de la toma de contacto del tren de nariz y el despliegue de Spoilers en el peso sobre ruedas y la resistencia aerodinámica.*

Otro método de frenado de los que dispone la aeronave es el empuje reverso. Dependiendo del tipo de motor del que disponga la aeronave en concreto, el empuje reverso se consigue de una u otra forma. En motores con índices de derivación bajos, el empuje reverso generalmente se consigue revirtiendo el sentido de salida de los gases de escape mientras que en motores con altos índices de derivación, el empuje reverso se consigue revirtiendo el sentido del flujo de aire proveniente del fan. Por otro lado, en aeronaves propulsadas a hélice el empuje reverso se logra cambiando el paso de la misma.

A medida que el desempeño de los frenos del tren de aterrizaje ha ido mejorando y dada las presiones que existen hoy en día en los aeropuertos para reducir las emisiones acústicas, el uso de los reversores se ha ido reduciendo. A esto habría que sumarle las crecientes políticas comerciales para reducir el uso de combustible y el desgaste sufrido por los motores. Aun así, cabe destacar que el empuje reverso provee de beneficios adicionales a la desaceleración, particularmente en aquellas pistas con un reducido coeficiente de fricción.

En una pista seca, la desaceleración disponible al aplicar al máximo los frenos manuales del tren de aterrizaje, dependerá de la capacidad de frenado de las ruedas. El empuje reverso aumentará esta desaceleración disponible y por consiguiente, la distancia recorrida hasta la parada de la aeronave será menor.

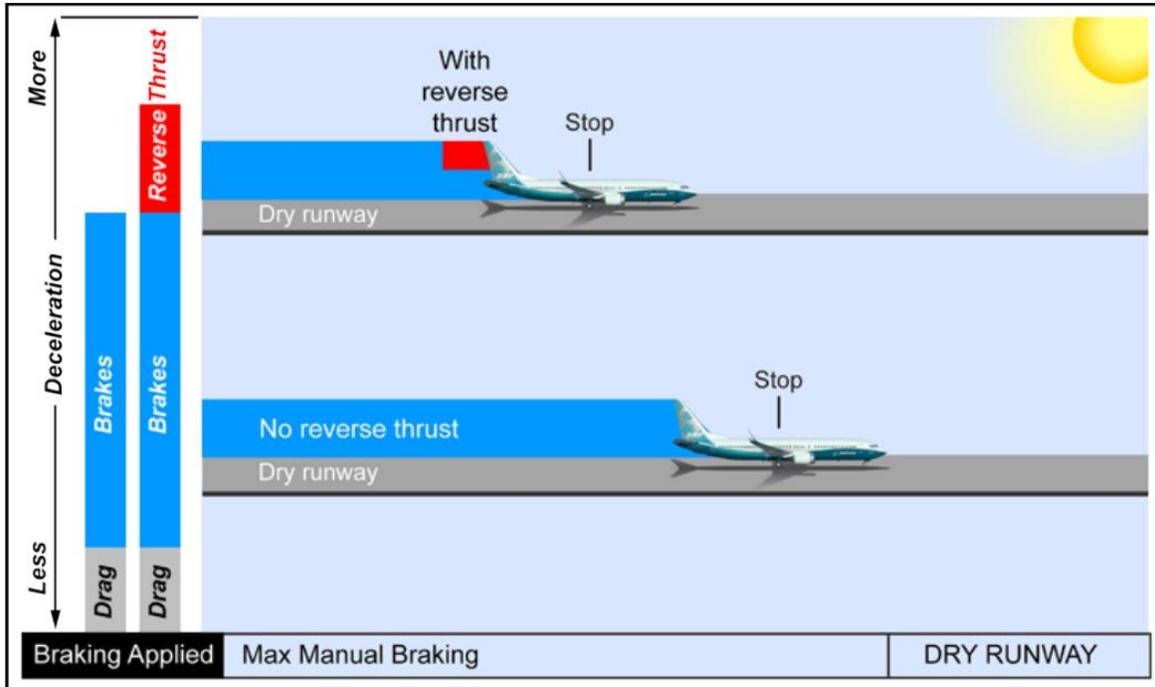


Figura 63. Desaceleración conseguida utilizando frenos manuales al máximo junto con reversores en una pista seca. (Fuente: The Boeing Company).

Ahora bien, los manuales de vuelo recomiendan utilizar los frenos automáticos en vez de los manuales, aun cuando éstos son los que proveen el mejor frenado posible. Es más, algunas aerolíneas ordenan a sus tripulaciones usar los frenos automáticos en todos los aterrizajes. Según establecen las SOP de algunas aeronaves, un uso apropiado del autobrake, en conjunto con un uso efectivo y en tiempo del empuje reverso supone la forma más eficiente y económica de desacelerar el avión. A diferencia de los frenos manuales, los automáticos apuntan a conseguir un régimen de desaceleración constante en vez de una fuerza de frenado, reduciendo el desgaste en los mismos.

Utilizar el empuje reverso con algún nivel de autobrake no aumentará la tasa de desaceleración en una pista seca, asumiendo que los demás dispositivos de frenado hayan sido desplegados. Simplemente reducirá la energía aplicada a los frenos, minimizando el desgaste sufrido por las cubiertas del tren de aterrizaje. En contraste, en pistas húmedas o mojadas, el régimen de desaceleración asociado con el nivel de autobrake deseado puede no ser conseguido únicamente con los frenos del tren, en cuyo caso el empuje reverso es esencial para frenar la aeronave aun cuando este activo el autobrake. Las siguientes figuras ilustran lo anterior.

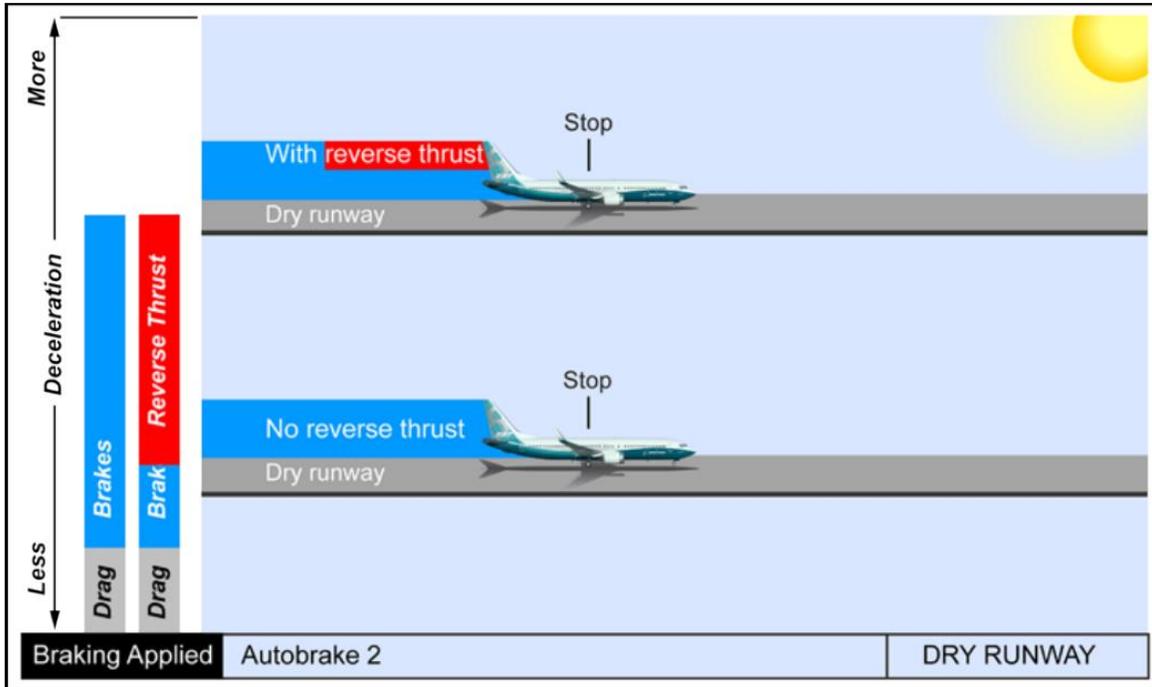


Figura 64. Desaceleración conseguida utilizando frenos automáticos junto con reversores en una pista seca. (Fuente: The Boeing Company).

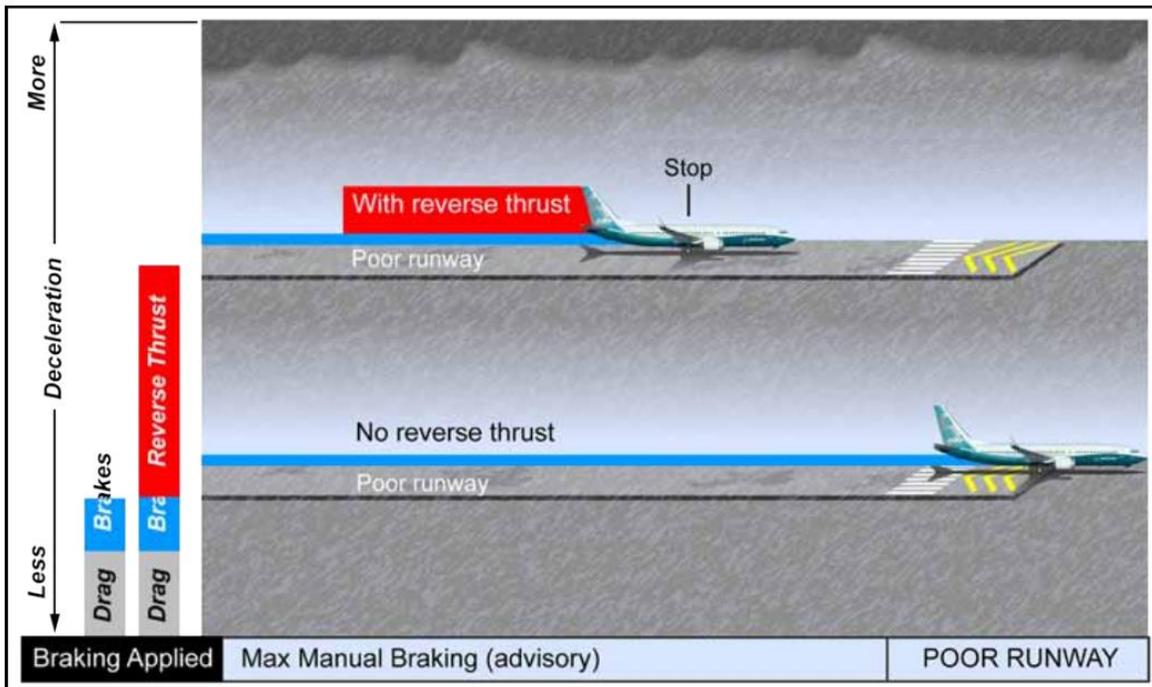


Figura 65. Desaceleración conseguida utilizando frenos manuales al máximo junto con reversores en una pista húmeda. (Fuente: The Boeing Company).

Aun cuando su utilización está en decadencia, el empuje reverso puede ser un componente vital para una carrera de aterrizaje segura o un despegue abortado y por lo tanto, las tripulaciones deberían estar preparadas para utilizarlo cuando sea necesario.

Dependiendo de la situación en cuestión, todos los dispositivos de frenado de los que dispone la aeronave pueden resultar claves para detenerse dentro de los límites de la pista. Debe tenerse en cuenta que los métodos de cálculo utilizados para predecir la performance del avión durante el aterrizaje asumen un uso en tiempo y forma de dichos dispositivos. Desviarse de esto puede reducir significativamente el margen existente entre la longitud de pista disponible y la necesaria para poder frenar. Por todo esto, es necesario que las aerolíneas enfatizen el uso correcto de estos sistemas. En otras palabras, una vez la aeronave realiza la toma de contacto, las tripulaciones no deberían demorarse en bajar el morro de la misma ni en desplegar spoilers, reversores y frenos según corresponda.

### 3.3.4 Caso de Ejemplo: Excursión de Pista de un DC-10-30 en Japón

#### Reseña del Vuelo

El 13 de Junio de 1996, la aeronave Douglas DC-10-30 del operador Garuda Indonesia, matrícula PK-GIE, se encontraba realizando la carrera de despegue por la pista 16 del aeropuerto de Fukuoka, Japón con destino el aeropuerto de internacional de Bali cuando se decide abortar el despegue. La aeronave no consigue frenar dentro de los límites de la pista y consecuentemente, termina saliéndose por el final de la misma.

A continuación, la aeronave recorre el césped continuo a la pista y, aproximadamente a 320 metros del umbral de la pista 34, cruza una avenida donde el tren principal colapsa. Finalmente, la aeronave se detiene a 620 metros del umbral de la pista 34, donde se origina un fuego.

A bordo de la aeronave viajaban 275 personas - 261 pasajeros y 14 miembros de la tripulación. De ellos, 3 pasajeros recibieron heridas fatales mientras que 16 pasajeros y 2 miembros de la tripulación fueron seriamente heridos. Por su parte, la aeronave fue completamente destruida por el fuego.



*Figura 66. Posición final de la aeronave accidentada (Japón, 13 de Junio, 1996).*

### ¿Qué sucedió?

Una vez la aeronave recibe la autorización, comienza con la carrera de despegue por la pista 16, alcanzando V1 (149 Nudos) y posteriormente VR (157 Nudos) cuando el motor número 3 falla (ubicado en el ala derecha). Hasta ese momento no hubo ningún otro tipo de anomalías que contribuyesen al accidente. Aproximadamente dos segundos después de que ocurriese la falla del motor (CAS: 164 Nudos, RA: 5,4 ft) el capitán comienza a bajar la nariz de la aeronave en un intento de abortar el despegue, y dos segundos más tarde disminuye la potencia al ralentí. Dada la velocidad de la aeronave y el remanente de pista cuando se comienza con el despegue abortado, el DC-10 no consigue frenar dentro de los límites de pista, saliéndose por la cabecera opuesta. A continuación recorre varios cientos de metros más hasta alcanzar su posición final donde se origina un fuego.

La falla en el motor número 3 se debió a una fractura por fatiga producida en uno de los álabes de la primera etapa de la turbina de alta. Se trató de una falla contenida, es decir, aun cuando internamente hubo separación de componentes, los mismos permanecieron dentro de la carcasa del motor. Al producirse la falla, se genera un fuerte ruido, probablemente debido a una combustión anormal y a la entrada en pérdida del compresor. Instantes posteriores, el capitán toma la decisión de abortar el despegue. Si se hubiese continuado con el despegue, la aeronave habría alcanzado la velocidad de despegue seguro (V2), pudiendo despegar aun cuando la performance del vuelo se viese comprometida dada la operación con dos motores en vez de tres. Cabe señalar que estas aeronaves se encuentran certificadas para volar con un motor inoperativo.



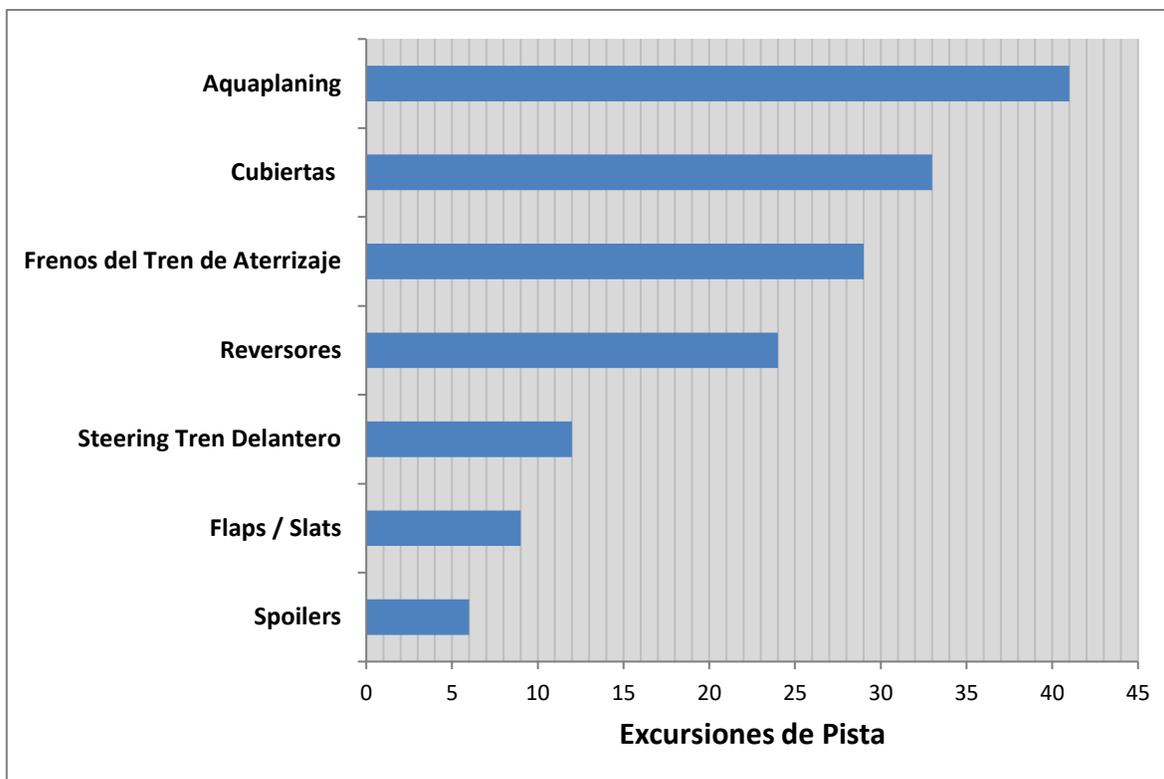
*Figura 67. Situación Post-impacto de la aeronave.*

### 3.4 Excursiones de Pista asociadas a fallas mecánicas en los sistemas de la aeronave

El último gran grupo de factores asociados con las excursiones de pista son aquellos que tienen que ver con las fallas mecánicas en los distintos sistemas de la aeronave. A diferencia de lo que sucede con otro tipo de causales, éstos generalmente exceden del control de la tripulación. Se trata de fallas intrínsecas a la aeronave, entre las que se incluyen averías en los dispositivos de frenado o el hidroplaneo.

De la totalidad de las excursiones de pista estudiadas, 131 (21%) de ellas se asocian con problemas mecánicos en uno o más de los sistemas de la aeronave analizados. Entre todos los factores estudiados, se destacan los siguientes:

- **Aquaplaning:** En 44 de 131 (34%) accidentes, dada la condición en la que se encontraba la pista, la aeronave hidroplanea. Este efecto ocurre cuando las cubiertas del tren de aterrizaje (que se encuentran rodando) pierden parcial o totalmente el contacto con la superficie de la pista debido a una película de agua o nieve existente en la misma, resultando en que la fuerza de frenado en dicha rueda no es efectiva a la hora de reducir la velocidad de la aeronave.
- **Cubiertas del Tren de Aterrizaje:** En 33 de 131 (25%) accidentes fallaron una o más cubiertas del tren de aterrizaje. Al fallar un neumático, se pierde la fuerza de frenado provista por una rueda, aumentando la distancia necesaria para frenar. Por lo general, estas fallas se atribuyen a falencias en el inflado de los neumáticos.
- **Frenos del Tren de Aterrizaje:** En 29 de 131 (22%) accidentes fallaron los sistemas de frenado de la aeronave. Entre dichos sistemas se encuentran el *Autobrake* y el *Antiskid*.
- **Reversores:** En 24 de 131 (18%) accidentes falló la activación del empuje reverso en uno o más reversores de la aeronave. Por lo general, esta falla se dio en un motor únicamente, generando una asimetría en el empuje y provocando problemas de control de la aeronave.



*Figura 68. Excursiones de Pista asociadas a fallas en los sistemas de la aeronave. (Fuente: Elaboración Propia).*

A continuación se desarrollará en lo que se entiende por Aquaplaning / hidroplaneo. Para entender cómo afectan las fallas de los sistemas de frenado, ya sean los reversores, spoilers o los frenos del tren de aterrizaje, se recomienda leer el apartado 3.3.3.

### 3.4.1 Aquaplaning

Las pistas contaminadas por agua o nieve constituyen uno de los factores mayormente presentes en las excursiones de pista, según se pudo apreciar en el apartado 3.2. Generalmente, esta condición de la pista se traduce simplemente en una reducción del coeficiente de fricción, prolongando la carrera de aterrizaje de la aeronave. En aquellos casos más severos, puede dar lugar a lo que se conoce como Aquaplaning o Hidroplaneo, afectando severamente tanto al control en tierra como a la capacidad de frenado de la aeronave.

Como es sabido, las cubiertas del tren de aterrizaje constituyen el único contacto de la aeronave con la superficie por la que se desplaza. Conforme un neumático rueda a lo largo de una pista mojada, constantemente está forzando el agua fuera de la banda de rodadura. Esta acción genera presiones hidrodinámicas que pueden llegar a levantar partes del neumático, evitando así el contacto con la superficie de la pista y reduciendo la cantidad de rozamiento que el mismo puede desarrollar. A este fenómeno se lo denomina Hidroplaneo. Técnicamente, siempre que una rueda se esté moviendo en una superficie mojada, estará hidroplaneando. El resultado de ello es un bajo coeficiente de fricción entre el neumático y la pista a altas velocidades, mejorando a medida que la velocidad se reduce. Existen tres tipos de hidroplaneo: Viscoso, Dinámico y por Revenido de Caucho.

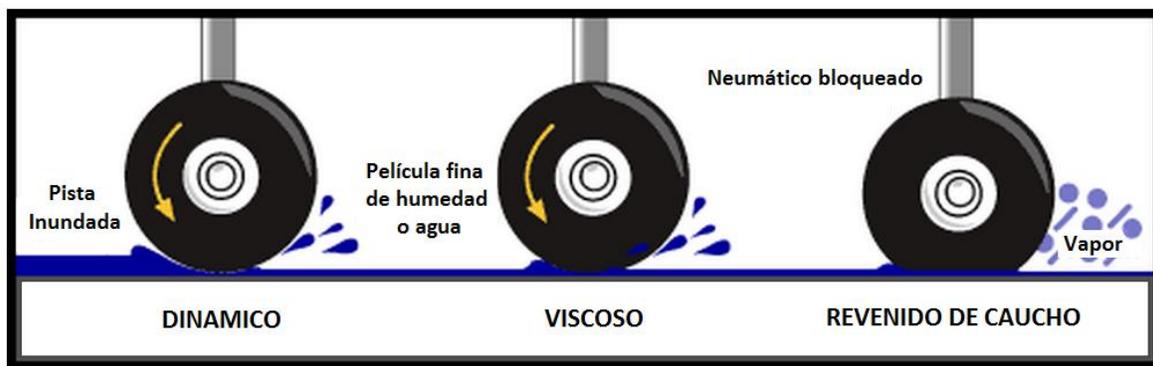


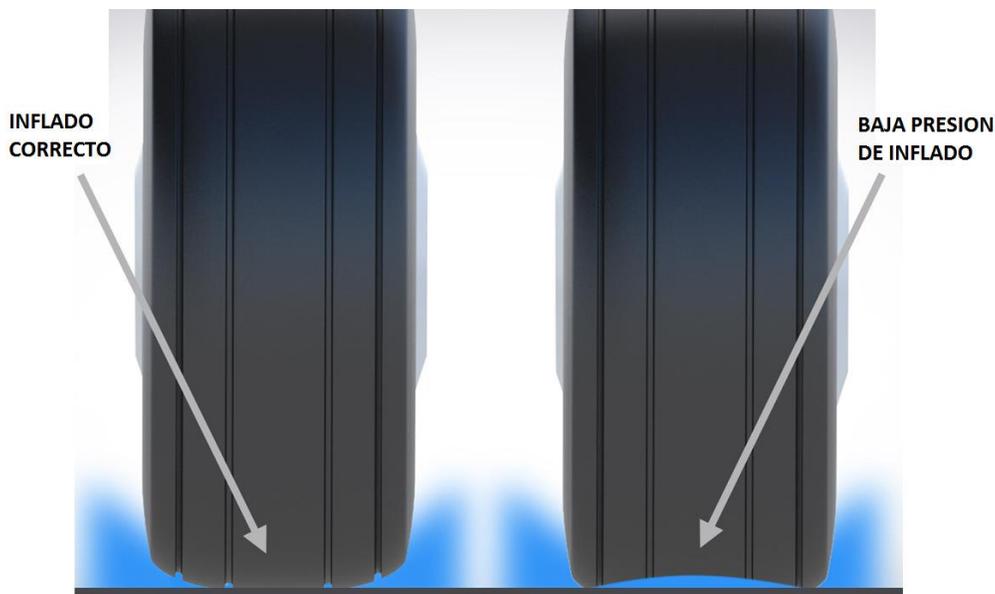
Figura 69. Tipos de Hidroplaneo.

El Hidroplaneo Viscoso ocurre en todas las pistas que se encuentren mojadas y técnicamente es utilizado para describir la acción resbaladiza o lubricante del agua. Aunque el hidroplaneo viscoso reduce el coeficiente de fricción, generalmente éste no alcanza valores lo suficientemente bajos para que la rueda no pueda comenzar a girar instantes posteriores a la toma de contacto con la pista, de forma tal de iniciar el sistema de *Antiskid*. El hidroplaneo viscoso es la causa más recurrente responsable de un bajo rozamiento en pistas mojadas, y cada tanto es confundido con el hidroplaneo dinámico, mucho más severo.

Por su parte, el Hidroplaneo Dinámico es lo que se conoce técnicamente como *hidroplaneo* y consecuentemente, es el más crítico. A pesar de ser el más estudiado, es probablemente el que menos probabilidades de ocurrir tiene, debido a que las condiciones para ello son también difíciles de darse. Durante un hidroplaneo dinámico, el neumático, al girar, empuja el agua hacia los canales de drenaje que forman el dibujo de la cubierta, pero la banda de rodadura que mantiene el contacto con la superficie de la pista retiene en frente suyo un cierto volumen de agua. A medida que la velocidad de la aeronave y la profundidad del

agua aumentan, este líquido incrementa su resistencia a ser desplazada, formando una cuña que va penetrando debajo de la huella del neumático. Cuando la presión hidrodinámica iguala el peso de la aeronave, el contacto entre el neumático y la pista se interrumpe y la rueda deja de girar. La velocidad a la cual esto sucede se denomina Velocidad de Hidroplaneo.

El hidroplaneo dinámico requiere de altas velocidades, zonas de agua estancada y una pobre macro-textura de la superficie de la pista para poder ocurrir. Dichas condiciones deben mantenerse para que el neumático continúe patinando. En la ausencia de alguna de ellas, el hidroplaneo no ocurrirá o únicamente afectará una parte de la huella de la cubierta. Asimismo, otro factor que afecta a la probabilidad de ocurrencia de este fenómeno es la presión de inflado y el dibujo de las cubiertas (radial, *cross-ply*, etc). Si las mismas no se encuentran lo suficientemente infladas, el riesgo de hidroplaneo aumenta y podría llegar a darse a bajas velocidades también.



*Figura 70. Efecto de la presión de inflado de las cubiertas en la probabilidad de ocurrencia del hidroplaneo.*

Por último, el Hidroplaneo por Revenido de Caucho puede ocurrir cuando un neumático bloqueado ha estado deslizándose por una pista mojada (una fina capa de agua es suficiente) por tiempos prolongados, generando un calentamiento por fricción localizado en la huella del mismo. Este calor generado es suficiente para provocar que el caucho o la goma en contacto con la superficie de la pista vuelvan a su estado sin curar. El revenido de la goma actúa como un sello entre la pista y el neumático, retrasando la expulsión del agua

de la huella del neumático. Consecuentemente, esta agua atrapada se calienta y se convierte en vapor, aislando el neumático de la superficie de la pista.



*Figura 71. Ejemplos de Hidroplaneo por Revenido de Caucho.*

La probabilidad de que ocurra un hidroplaneo puede reducirse de diversas formas. A continuación se mencionan algunas de ellas:

- Aterrizar en una pista con surcos;
- Realizar un aterrizaje positivo (fuerte);
- Considerar aterrizar con los *flaps* desplegados al máximo para lograr una menor velocidad de toma de contacto y una mayor resistencia aerodinámica;
- Una vez la rueda de nariz toma contacto con la pista, aplicar frenos moderados;
- El control direccional debe mantenerse con el timón de dirección hasta donde sea posible;
- Asegurarse del despliegue de Spoilers.

Debe tenerse en cuenta que el hidroplaneo puede evitar la activación de varios sistemas de desaceleración de los que dispone la aeronave dado que las ruedas no podrán comenzar a girar. Entre ellos se encuentran los sistemas de *Autobrake*, *Antiskid* y despliegue de spoilers, críticos para poder detener la aeronave.

### **Efecto del Hidroplaneo sobre el sistema de Antiskid**

Hoy en día la mayoría de las aeronaves poseen un sistema de *Antiskid* o anti deslizamiento. Este sistema previene el bloqueo de las ruedas del tren de aterrizaje y mediante el control de la presión de frenado, automáticamente optimiza el deslizamiento del neumático para así obtener la fuerza máxima de frenado. En consecuencia, el piloto puede utilizar los pedales

del sistema de frenado al máximo sin necesidad de preocuparse por el posible bloqueo de las ruedas o de la optimización del mismo.

Ahora bien, el sistema de *Antiskid* necesita de una velocidad de rueda de referencia para poder funcionar. Esta señal de referencia es de especial importancia dado que sirve para detectar el grado de deslizamiento o bloqueo de las ruedas. Inicialmente se genera cuando la aeronave realiza la toma de contacto con la pista y las ruedas comienzan a girar. En pistas secas esto ocurre casi instantáneamente mientras que en pistas mojadas, puede demorarse (está demostrado que aun en pistas inundadas, esta demora no debería prolongarse más allá del instante en que la aeronave despliega spoilers – configuración Weight on Wheels (WOW) - y baja la nariz).

Como ya se ha visto, es en estas pistas mojadas donde los neumáticos pueden hidroplanear: aparece una fina capa de agua sobre la superficie que evita el contacto de las cubiertas del tren de aterrizaje con la misma. Las fuerzas de rozamiento generadas entonces entre los neumáticos y la superficie son mucho menores dada la viscosidad del agua, evitando que la rueda gire. En caso de que el piloto aplique frenos antes de que las ruedas se encuentren girando, podría llegar a bloquearlas y consecuentemente, reducir drásticamente las fuerzas de frenado.



*Figura 72. Tren de Aterrizaje principal de un Boeing B747-400.*

### 3.4.2 Caso de Ejemplo: Excursión de Pista de un A320-230 en Brasil

#### **Reseña del Vuelo**

El 17 de Julio de 2007, a las 17:19 hora local, la aeronave Airbus A320, matrícula PR-MBK, número de vuelo JJ3054, despegó de Porto Alegre con destino al aeropuerto de Congonhas en la ciudad de Sao Paulo. Un total de 187 personas se encontraban a bordo de las cuales 6 correspondían a la tripulación del mismo. El operador de la aeronave es TAM Líneas Aéreas.

La meteorología prevaleciente a lo largo de la ruta y en destino era adversa, consecuentemente la tripulación debió realizar una serie de desvíos. Hasta el momento del aterrizaje, el vuelo ocurrió dentro de la rutina esperada. La aeronave se encontraba operando con el reversor del motor número 2 desactivado, en concordancia con lo permitido por la "*Minimum Equipment List*" (MEL).

De acuerdo a información provista a la torre de control por parte de distintas tripulaciones que habían aterrizado antes, la pista activa en Congonhas (35L) se encontraba mojada y resbaladiza.

Durante el aterrizaje, a las 18:54 hora local, la tripulación del vuelo JJ3054 nota que los spoilers no fueron desplegados y la aeronave, que no estaba desacelerando como era de esperar, vira hacia la izquierda, saliéndose de la pista por el borde izquierdo de la misma, cerca de la cabecera 17R. A continuación, la aeronave sale del predio aeroportuario, cruza la avenida Washington Luis y termina colisionando con un edificio del mismo operador (TAM Express) y una estación de servicio.



Figura 73. Posición final de la aeronave accidentada. (Brasil, 17 de Julio, 2007).

Todas las personas a bordo fallecen en conjunto con 12 personas más que se encontraban en tierra, principalmente trabajando dentro del edificio de TAM Express. La aeronave fue completamente destruida como resultado del impacto y del fuego ocasionado, que duró varias horas.

### ¿Qué sucedió?

El procedimiento para operar las palancas de potencia durante el aterrizaje cuando un reversor se encontraba inoperativo había sido recientemente modificado por la compañía. Previamente se requería a los pilotos que seleccionaran únicamente aquel reversor que se encontraba operativo mientras que el nuevo procedimiento establecía que se debían seleccionar ambos, independientemente de su condición. La tripulación llevó a cabo este nuevo procedimiento en su aterrizaje previo en Porto Alegre. Sin embargo, durante el *flare* previo a la toma de contacto en el aeropuerto de Congonhas, únicamente la palanca de potencia del motor número uno se retrasa de la posición CLIMB (Potencia de Ascenso) a la posición IDLE (Ralentí). Al no poner la palanca del motor número dos en IDLE, el *Autothrust* no se desconecta y dicho motor comienza a acelerarse de tal forma de mantener la velocidad de aproximación seleccionada.

Posteriormente, luego de tocar en la pista, sólo el reversor número uno se selecciona mientras que la palanca de potencia del motor número dos permanece en la posición CLIMB. No había sistema de alerta para advertir a los pilotos de esta configuración dado que la alarma acústica RETARD, la única que alerta a la tripulación de que ambas palancas no se encuentran en IDLE, queda desactivada tras la selección de un reversor. Asimismo, una vez se selecciona el reversor, el *Autothrust* se desconecta automáticamente y la función "*Thrust Lock*" se activa, bloqueando la potencia del motor dos en la que tenía en ese momento: 1,18 EPR de empuje positivo. En ningún momento la tripulación se percató de este hecho.

Los spoilers de tierra no se extienden dado que su despliegue automático requiere que se cumpla la condición de que ambas palancas de potencia se encuentren en la posición IDLE. Como en cualquier efecto cascada, el autobrake, aunque se encontraba armado, no se activa dado que el despliegue de los spoilers es un pre-requisito. Por lo tanto, sumado al hecho de que un motor se encontraba con empuje positivo durante la carrera de aterrizaje, no hubo ni despliegue de spoilers ni activación del autobrake. Aun cuando los pilotos, tras percatarse de que los spoilers no se habían desplegado, aplican frenos manuales al máximo, la aeronave no consigue detenerse dentro de los límites de la pista.



*Figura 74. Situación Post-impacto de la aeronave.*

## 3.5 Las Excursiones de Pista y el Aeropuerto

Así como resulta fundamental estudiar por qué se producen las excursiones de pista, se debe investigar también el impacto que tienen las zonas aledañas a la misma, como la franja de seguridad o el área de seguridad de extremo de pista (RESA, por sus siglas en inglés), y su importancia a la hora de minimizar los daños sufridos por la aeronave y los pasajeros. Para ello, y siempre y cuando la información disponible lo permita, se emplazarán las aeronaves en su posición final tras la excursión de pista. Esto permitirá obtener resultados y conclusiones certeras acerca de cómo dichas superficies repercuten en la severidad del accidente.

Por otro lado, a lo largo del estudio se comprobó como un gran número de accidentes ocurrieron en lo que se denominan Aeropuertos Urbanos. Un gran porcentaje de aeropuertos a lo largo del mundo se encuentran rodeados por núcleos de población urbana. Es a este tipo de aeródromos a los que se llama “*City Airports*” o Aeropuertos Urbanos. Este dato no es menor, sobre todo si se tiene en cuenta que 9 de los 10 aeropuertos de mayor tránsito de pasajeros en el mundo entran dentro de esta categoría. En este apartado se pretende estudiar también el riesgo que supone para la población circundante este tipo de accidentes.

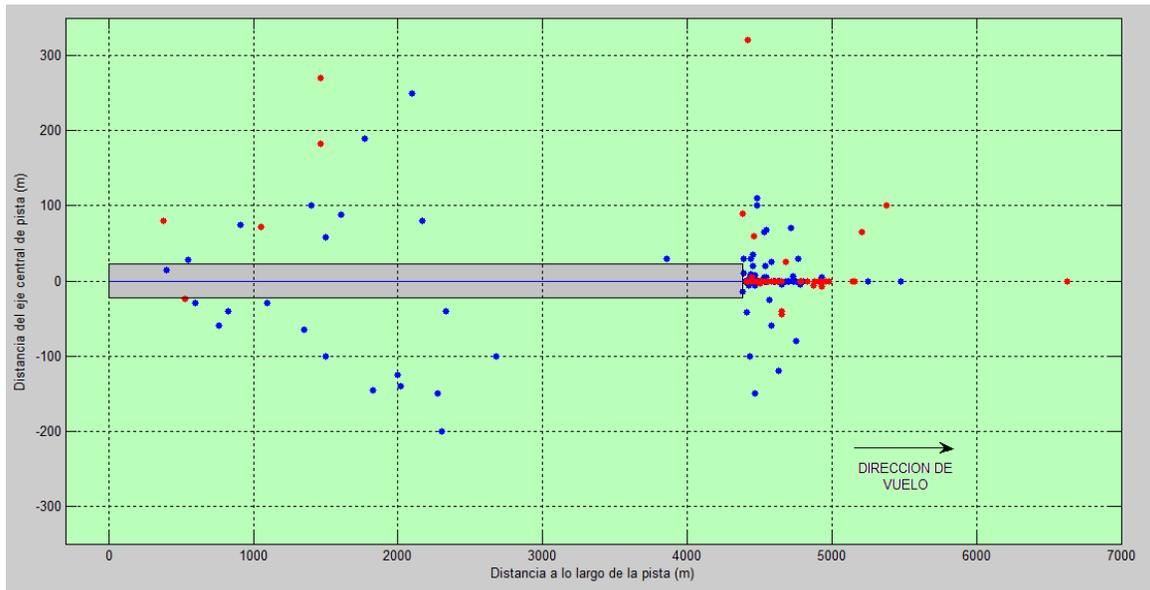
### 3.5.1 Análisis de la posición final de las Aeronaves accidentadas

Para entender cómo inciden las excursiones de pista sobre las zonas circundantes al aeródromo y viceversa, es necesario estudiar la posición final de la aeronave tras dichas excursiones. Esto permitirá determinar las áreas cercanas a la pista que se vean más afectadas, de forma tal de poder evaluar medidas para minimizar las consecuencias de este tipo de siniestros.

De todos los accidentes estudiados, únicamente se pudo establecer fehacientemente la posición final de la aeronave en un 30% de ellos (aproximadamente unas 200 excursiones de pista). Dado que las pistas involucradas en los accidentes difieren una de otra, se debe adoptar un criterio para poder ubicar a las aeronaves en relación a la misma. Se utilizará una pista normalizada, donde las excursiones se emplazarán de la siguiente forma:

- *Veer - off*: Relativas al comienzo de pista y al eje central de la misma.
- *Overrun*: Relativas al final de pista y la prolongación del eje de la misma.

En la siguiente figura se observa la distribución de la totalidad de los accidentes emplazados en su posición final. Los puntos de color azul se corresponden con excursiones de pista ocurridas tras el aterrizaje mientras que los puntos rojos se corresponden con excursiones en el despegue. Nótese que únicamente se grafica la pista.



*Figura 75. Posición Final de las Aeronaves Accidentadas (1). (Fuente: Elaboración Propia).*

Hoy por hoy, siguiendo la normativa establecida por la OACI, todas las pistas deberían ir asociadas de zonas aledañas como lo son la franja de seguridad y la RESA. Dado que se pretende estudiar y enfatizar el uso de dichas zonas, el impacto de ellas sobre las excursiones de pista se estudiará en los apartados venideros.

En la figura 22 del apartado 3.1, se pudo observar como las excursiones de pista del tipo *Overrun* son las que más ocurren. En otras palabras, el mayor número de excursiones finalizan con la aeronave detrás del umbral de pista correspondiente a la cabecera opuesta por la que aterriza o despegue. A este número, habría que sumarle las excursiones del tipo *Veer-Off* que también se detienen después de dicho umbral, siendo una minoría. Aproximadamente, un 85% del total de las excursiones de pista que pudieron ser emplazadas quedan enmarcadas dentro de ésta zona, según se puede observar en la siguiente figura.

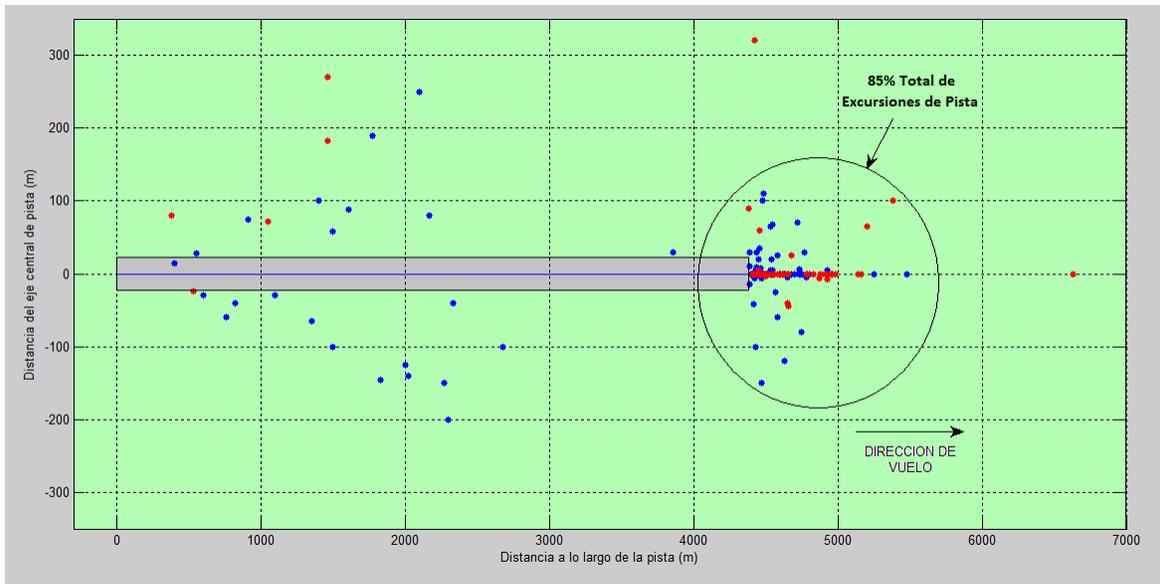


Figura 76. Posición Final de las Aeronaves Accidentadas (2). (Fuente: Elaboración Propia).

La gran mayoría de estos accidentes se ubican dentro de los 600 metros posteriores al final de pista, en la prolongación del eje de la misma, mientras que lateralmente con respecto a dicho eje, rara vez se encuentran más allá de los 100 metros de distancia.

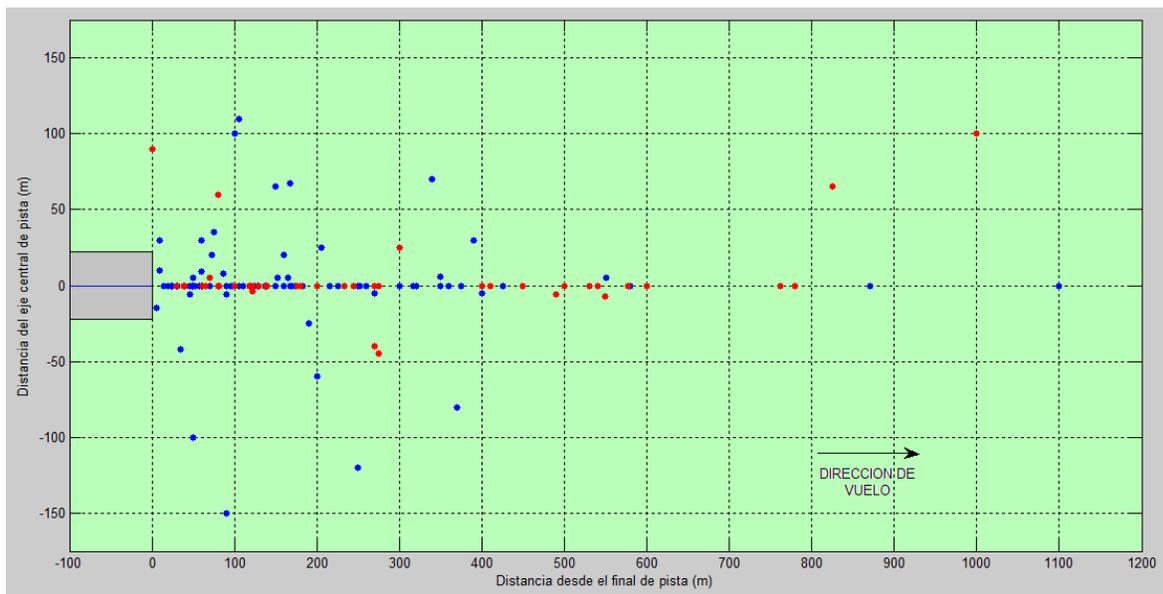


Figura 77. Posición final de las Aeronaves Accidentadas ubicadas detrás del umbral. (Fuente: Elaboración Propia).

Si bien no se muestra en las imágenes previas dado que escapa al alcance de este informe, existe otro tipo de accidente que afecta directamente a la zona anterior al umbral |por el que las aeronaves deberían aterrizar. Se trata de los denominados aterrizajes cortos (demasiado), es decir, cuando el avión aterriza antes del comienzo de la pista. Este tipo de siniestros se complementa a las excursiones de pista que finalizan con la aeronave detrás del umbral de despegue en cuanto a la importancia que poseen los extremos de pista se refiere.

El principal foco de atención de los operadores, tripulaciones, organismos reguladores y autoridades aeroportuarias debería estar siempre en minimizar las probabilidades de que una excursión de pista pueda ocurrir. Sin embargo, en caso de que la que excursión de pista suceda, medidas para reducir la severidad de sus consecuencias deberían ser también implementadas. Si bien existen diversas medidas para lograr esto, el informe se centrará principalmente en lo que se conoce como RESA y una alternativa a la RESA conocida como EMAS.

A continuación se estudiará en detalle la RESA y se hará una breve mención acerca de la franja de seguridad de pista.

### 3.5.2 Área de Seguridad de Extremo de Pista (RESA)

Según se ha podido comprobar en el apartado anterior, determinadas zonas de la pista o zonas contiguas a la misma son las más afectadas tras una excursión de pista. Esto permite a los distintos organismos responsables de la seguridad operacional, evaluar y tomar decisiones acerca de cómo minimizarlos riesgos para la salud de los pasajeros y la integridad de la aeronave tras una excursión de pista.

A día de hoy, existen diversas formas, ya sea para reducir la ocurrencia de las excursiones de pista (llámense sistemas activos) o para minimizar los daños que producen este tipo de siniestros (sistemas pasivos). En este apartado se estudiará en detalle un sistema pasivo denominado RESA, que consiste en una superficie debidamente preparada para disminuir principalmente las consecuencias de las excursiones de pista del tipo *Overrun*.

En primer lugar se deberá entonces definir qué se entiende por RESA. La OACI, a través del Anexo 14 (Versión 2009): “*Aeródromos*”, define a la misma de la siguiente forma:

*"Área simétrica respecto a la prolongación del eje de la pista y adyacente al extremo de la franja, cuyo objeto principal consiste en reducir el riesgo de daños a un avión que efectúe un aterrizaje demasiado corto o un aterrizaje demasiado largo."*

Asimismo, dicho anexo, en el apartado 3.5, establece tanto las dimensiones mínimas como las recomendadas que debería tener la RESA:

### **"Generalidades**

3.5.1 *Se proveerá un área de seguridad de extremo de pista en cada extremo de una franja de pista cuando:*

— *el número de clave sea 3 o 4; y*

— *el número de clave sea 1 o 2 y la pista sea de aterrizaje por instrumentos.*

*Nota. — En el Adjunto A, Sección 10, se da orientación sobre las áreas de seguridad de extremo de pista.*

3.5.2 **Recomendación.** — *Debería proveerse un área de seguridad de extremo de pista en cada extremo de una franja de pista cuando el número de clave sea 1 o 2 y la pista sea de vuelo visual.*

### **Dimensiones de las áreas de seguridad de extremo de pista**

3.5.3 *El área de seguridad de extremo de pista se extenderá desde el extremo de una franja de pista hasta por lo menos 90 m cuando:*

— *el número de clave sea 3 o 4; y*

— *el número de clave sea 1 o 2 y la pista sea de aterrizaje por instrumentos.*

*De instalarse un sistema de parada, la longitud antes mencionada puede reducirse basándose en la especificación del diseño del sistema, lo que está sujeto a la aceptación del Estado.*

*Nota. — En el Adjunto A, Sección 10, figura orientación sobre los sistemas de parada.*

**3.5.4 Recomendación.** — *El área de seguridad de extremo de pista debería extenderse, en la medida de lo posible, desde el extremo de una franja de pista hasta una distancia de por lo menos:*

— 240 m cuando el número de clave sea 3 o 4; o una longitud menor cuando se instale un sistema de parada;

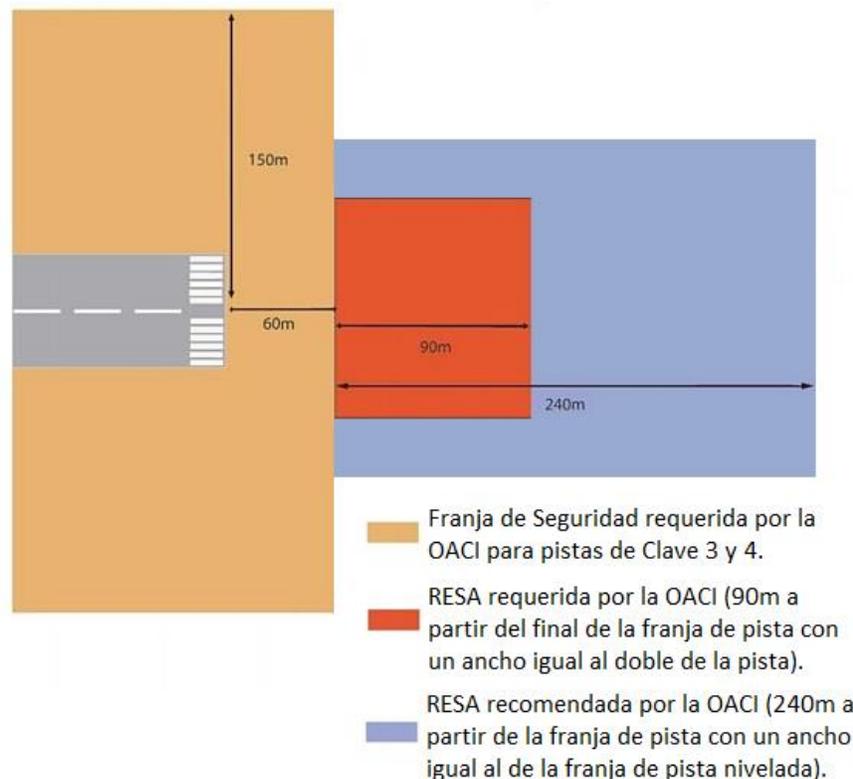
— 120 m cuando el número de clave sea 1 o 2 y la pista sea de vuelo por instrumentos; o una longitud menor cuando se instale un sistema de parada; y

— 30 m cuando el número de clave sea 1 o 2 y la pista sea de vuelo visual.

**3.5.5** *La anchura del área de seguridad de extremo de pista será por lo menos el doble de la anchura de la pista correspondiente.*

**3.5.6 Recomendación.** — *Cuando sea posible, la anchura del área de seguridad de extremo de pista debería ser igual a la anchura de la parte nivelada de la franja de pista correspondiente."*

A continuación se presenta una imagen ilustrativa de las dimensiones requeridas y recomendadas por la OACI para las RESA de pistas de clave 3 y 4.



*Figura 78. Dimensiones de RESA según OACI para pistas de Clave 3 y 4.*

Cabe recordar que la RESA es un sistema pasivo, es decir, no evita que la excursión de pista se produzca sino lo que busca es minimizar los daños que puedan recibir tanto las personas a bordo como la aeronave en cuestión. Se construyen para proveer de un área despejada y nivelada que, en la medida de lo posible, se encuentra libre de todo tipo de objetos que no sean frangibles. Asimismo, debería tener una superficie que mejore la capacidad de desaceleración de la aeronave en caso de una posible excursión, siempre y cuando esta no afecte el movimiento de los equipos de salvamento.

Si bien la OACI establece como mandatorio únicamente la RESA de 90 metros de longitud a partir del final de la franja de pista, en este estudio se pretende demostrar los beneficios significativos que acarrea una RESA de 240 metros.

La FAA por su parte difiere con la OACI en cuanto a obligaciones y recomendaciones de dicha zona se refiere. A raíz de un estudio llevado a cabo entre los años 1975 y 1987 sobre las excursiones de pista, la FAA establece que todos los aeropuertos comerciales deben tener un Área de Seguridad de Pista (RSA, por sus siglas en inglés) estándar, extendiéndose hasta los 1000 pies (305 metros) después del final de pista con un ancho de 500 pies (152 metros). A día de hoy, más del 75% de las pistas en aeropuertos comerciales de los Estados Unidos cumplen con este estándar, destacando el hincapié puesto por la FAA en dicho tema. Por tanto, la RSA es equivalente en dimensiones a la RESA recomendada por la OACI. Sin embargo, mientras un organismo la establece como mandatorio, el otro pareciera no atribuirle la importancia que amerita, aun cuando existen otras diversas instituciones como el *“International Federation of Air Line Pilots Association”* (IFALPA) que creen en la necesidad de la RESA ampliada.

A continuación se presenta una imagen en la que se contrastan las dimensiones estándar de la RSA en relación a las requeridas y recomendadas de la RESA.

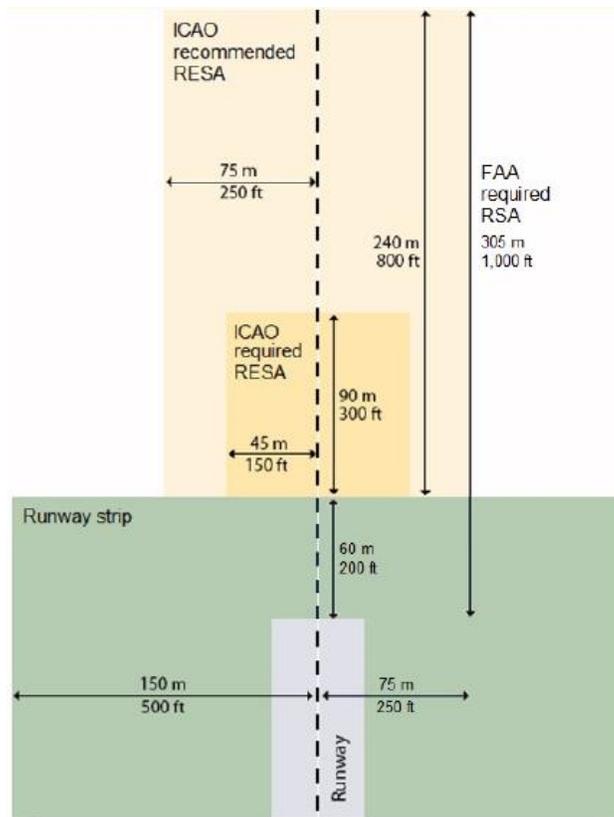
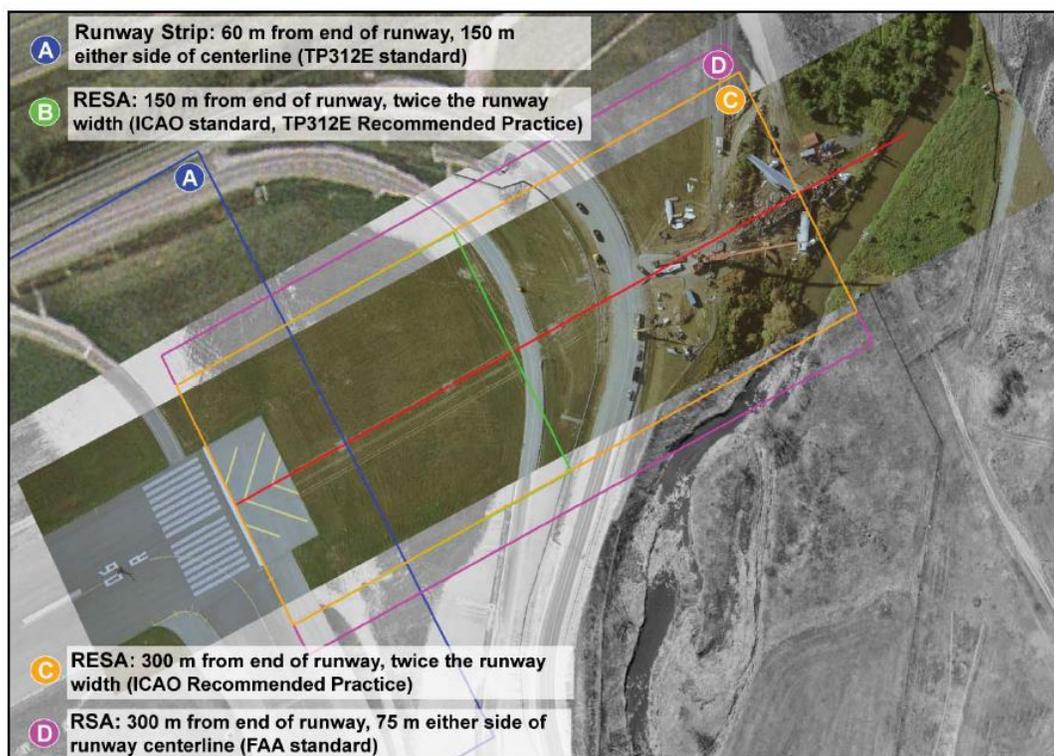


Figura 79. Comparativa entre los estándares de la RESA y la RSA.

## La RESA y las Excursiones de Pista

En numerosas excursiones de pista, post accidente, la RESA o ausencia de la misma ha sido objeto de estudio por los distintos organismos encargados de determinar las causas del siniestro. Generalmente, las conclusiones son similares, dándole vital importancia a la RESA en lo que a la severidad y daños asociados al impacto se refiere.

El 2 de Agosto de 2005, en el Aeropuerto Internacional de Toronto-Pearson, Canadá, una aeronave del tipo A340-300 de Air France, tras aterrizar no conseguía frenar dentro de los límites de pista, rebasándola y terminando a 270 metros de distancia del umbral. Los daños a la aeronave fueron totales e increíblemente, no hubo que lamentar pérdidas humanas. Si bien al momento del accidente no había una RESA declarada para la pista en cuestión, tras el umbral de la misma existían 150 metros en longitud de superficie nivelada y libre de objetos hasta el comienzo de una calle perimetral. Sin embargo, tras esta distancia se encontraban una zanja, vallas y pilares de concreto diseñados para sostener las luces de aproximación. Todos estos objetos contribuyeron ampliamente a los daños sufridos por la aeronave y los pasajeros.



*Figura 80. Comparativa de Áreas de Seguridad de Extremo de Pista según OACI y FAA para la Pista 24L de CYYZ. (Fuente: TSB Canada, Aviation Investigation Report A05H0002).*

En su análisis del accidente, la *"Transportation Safety Board of Canada"* cree que de haber contado la pista 24L con una RESA según las prácticas recomendadas por la OACI o los estándares de la FAA, los daños provocados tanto a la aeronave como a los pasajeros podrían haberse minimizado. Tras emitir la versión final del informe de Accidente, entre las diversas recomendaciones establecidas por la Agencia se encuentra la siguiente:

*"La agencia recomienda que el departamento de transporte requiera que todas las pistas Clase 4 tengan un Área de Seguridad de Extremo de Pista (RESA) de 300 metros o algún otro medio para detener la aeronave que provea de un nivel de seguridad equivalente."*



*Figura 81. Excursión de Pista de un A340-300 durante el aterrizaje. (Canadá, 2 de Agosto de 2005).*

El 25 de Mayo del 2008, en el Aeropuerto Internacional de Bruselas, Bélgica, un Boeing B747-400F de Kalitta Air, tras un despegue abortado, corría el mismo destino que el caso de la aeronave de Air France mencionada anteriormente. Luego de salirse de la pista y atravesar la RESA declarada de 90 metros de longitud, 60 metros más adelante la aeronave alcanza un primer terraplén, cayendo una altura de 4 metros y partiéndose en 3 partes. Finalmente, la misma se detiene justo encima del terraplén del ferrocarril. Afortunadamente, tampoco hubo que lamentar pérdidas humanas.



*Figura 82. Excursión de Pista de un B747-400F durante el despegue. (Bélgica, 25 de Mayo de 2008).*

En este caso, si bien la pista en cuestión poseía una RESA declarada según los estándares establecidos por la OACI, ésta no fue lo suficientemente extensa para que la aeronave se detuviese dentro de sus límites. Lograr una RESA de 240 metros de longitud en dicha pista se torna difícil debido principalmente a la existencia de las vías ferroviarias y los costos que implicaría modificarlas. Esto mismo sucede en diversos aeropuertos alrededor del mundo y suele ser razón suficiente para ignorar su importancia.



*Figura 83. Comparativa entre la RESA estándar y la recomendada por la OACI para la pista 20 de EBBR. (Fuente: AAIU Belgium, AAIU-2008-13).*

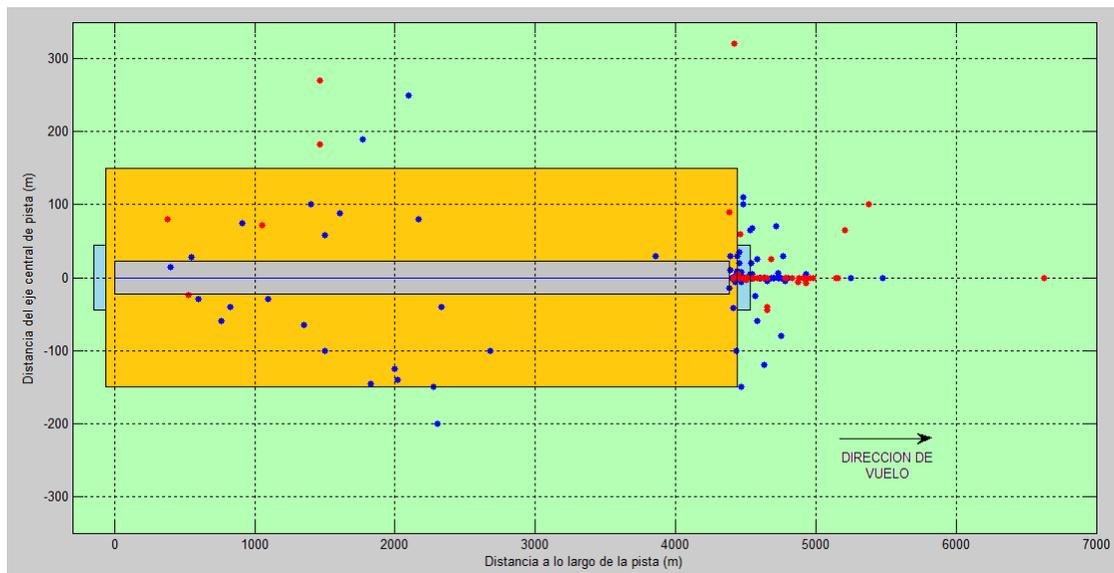
En su análisis del accidente, la unidad de investigación de accidentes aéreos de la "Federal Public Service Mobility and Transport" demostró computacionalmente que de haber contado con un sistema EMAS RESA, la aeronave se habría detenido antes del primer terraplén, siempre y cuando no se desviaría hacia la derecha. Nuevamente, tras emitir la versión final del informe del accidente, entre las distintas recomendaciones emitidas por este organismo se encuentra la siguiente:

*"Se recomienda extender la RESA de la Pista 20 de EBBR a la longitud recomendada por la OACI, ya sea mediante extensión física o a través del uso del sistema EMAS, o cualquier otro medio adecuado, y evaluar la necesidad de aplicar esta recomendación a otras pistas y aeropuertos belgas."*

### Ventajas de cumplir con la RESA recomendada por OACI

Hasta aquí se ha definido qué se entiende por RESA y se ha pretendido demostrar la importancia que se le atribuye a la hora de minimizar los daños sufridos tanto por las personas a bordo como la aeronave siniestrada. En este apartado se estudiarán las diferencias entre cumplir con la RESA obligatoria y la recomendada por OACI.

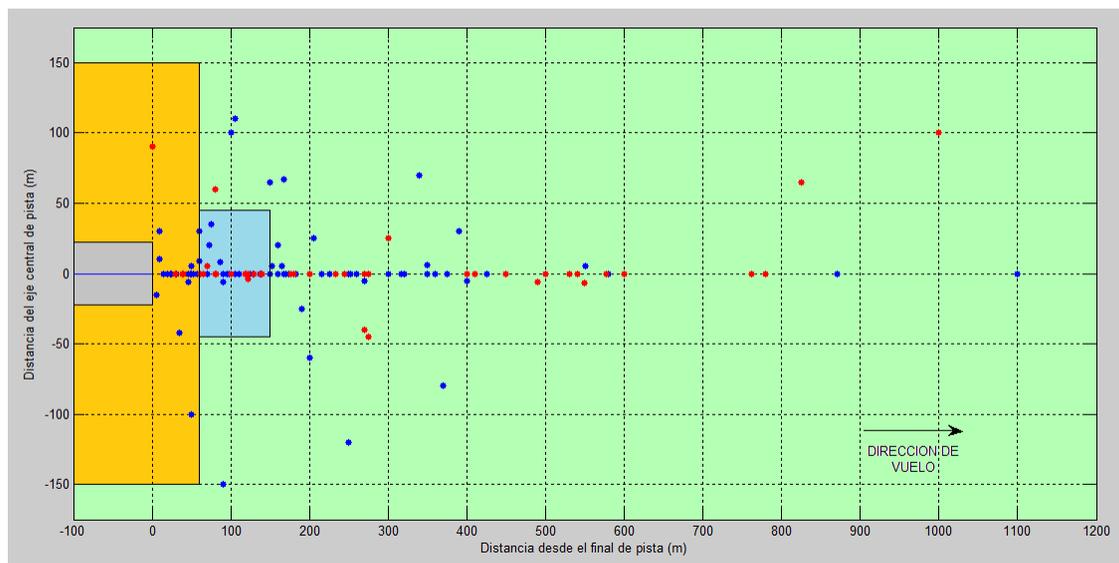
La siguiente imagen muestra la misma pista utilizada para el apartado 3.5.2, con la diferencia que en este caso se pueden apreciar también tanto la franja como la RESA establecidas como mandatorio por la OACI para este tipo de pistas (Clave 3 o 4, aptas para aproximaciones de precisión y no precisión). Nótese como, aun cuando un gran número de accidentes quedan encerrados dentro de dichas superficies, otros tantos quedan emplazados fuera de las mismas, principalmente aquellos ubicados tras el final de pista.



*Figura 84. Posición final de aeronaves accidentadas en relación a la pista y zonas asociadas. (Fuente: Elaboración Propia).*

Si bien no es objeto de estudio de este informe, debe destacarse como la gran mayoría de excursiones del tipo *Veer-Off* ocurren dentro de la franja de pista. Así como se verá con la RESA a continuación, esto destaca la importancia de poseer estas zonas de pista asociadas. En cuanto a las excursiones de pista del tipo *Overrun*, como ya se mencionara con anterioridad, prácticamente la totalidad de ellos se ubican dentro de los 600 metros posteriores al final de pista. Asimismo, la mayoría de ellos no se desvían demasiado hacia los laterales de la prolongación del eje de pista.

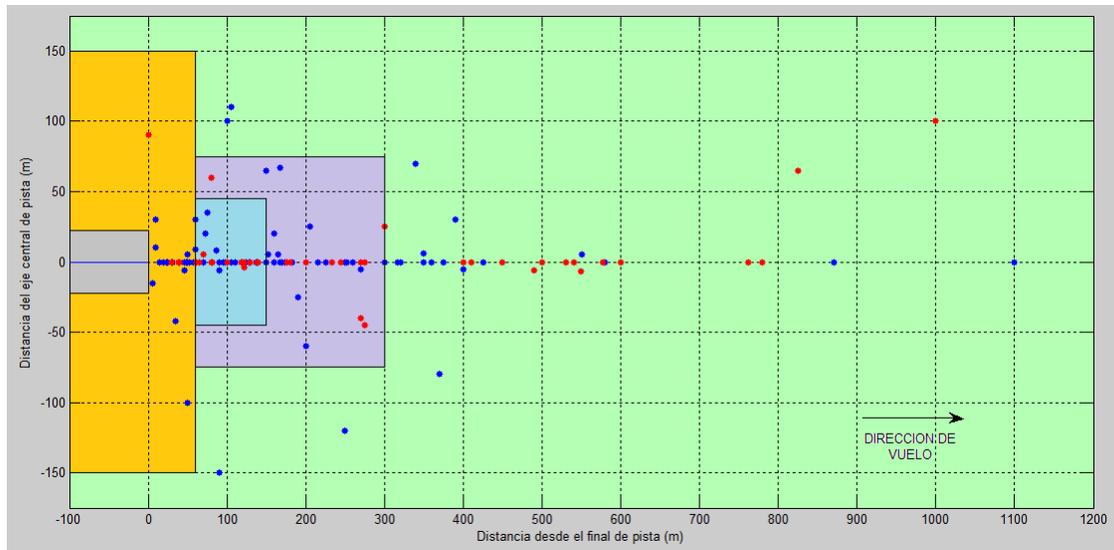
La RESA estándar establecida por la OACI para pistas de clave 3 o 4 se extiende 90 metros desde el extremo de la franja de pista. Si a esto se le suman los 60 metros de franja posteriores a la pista, resultan en 150 metros de terreno nivelado y libre de todo objeto que no sea frangible, con una superficie propicia para la desaceleración de la aeronave.



*Figura 85. Posición final de las aeronaves tras una excursión del tipo Overrun en relación a la pista y zonas asociadas. (Fuente: Elaboración Propia).*

De las 171 excursiones que pudieron ser posicionadas tras el final de pista, 158 (92%) se corresponden con el tipo *Overrun* y 13 (8%) con el tipo *Veer-Off*. De ellas, únicamente 79 (46%) finalizaron con la aeronave dentro de los límites de la RESA estándar. En otras palabras, más de la mitad de estas excursiones terminaron por fuera de dicha superficie, con todas las consecuencias, ya mencionadas, que eso podría acarrear.

La pregunta que surge a continuación es cómo se vería afectado este número si la RESA constase de las dimensiones recomendadas por OACI en lugar de las requeridas a día de hoy. La imagen siguiente contrasta ambas superficies.



*Figura 86. Comparación RESA estándar y RESA recomendada por OACI. (Fuente: Elaboración Propia).*

Si ahora se evalúa la RESA recomendada por OACI, el número de excursiones de pista contenidas dentro de dicha superficie aumentaría con respecto a la RESA estándar hasta un total de 128 (75%). Si bien las recomendaciones de la OACI establecen que el ancho de la RESA debería ser igual al de la franja nivelada de la pista, debe tenerse en cuenta que a la hora de englobar un mayor número de excursiones, resulta más significativo un incremento en la longitud de la RESA.

Resulta difícil evaluar el 25% restante de excursiones de pista que quedan fuera de esta zona. Dado que la propia RESA constituye una superficie favorable para la desaceleración de la aeronave, es probable que varias de las excursiones que finalizarán más allá de los límites comprendidos por la misma, podrían haberse detenido antes de haber contado la pista con dicha área.

A continuación se representa en una curva una aproximación polinómica, basada en los datos recopilados y que ilustra la distancia recorrida por la aeronave luego de sobrepasar el final de pista y hasta que se detiene. Como ya se mencionara, se puede apreciar como aproximadamente el 75% de ellas finalizan con la aeronave dentro de los límites de la RESA recomendada.

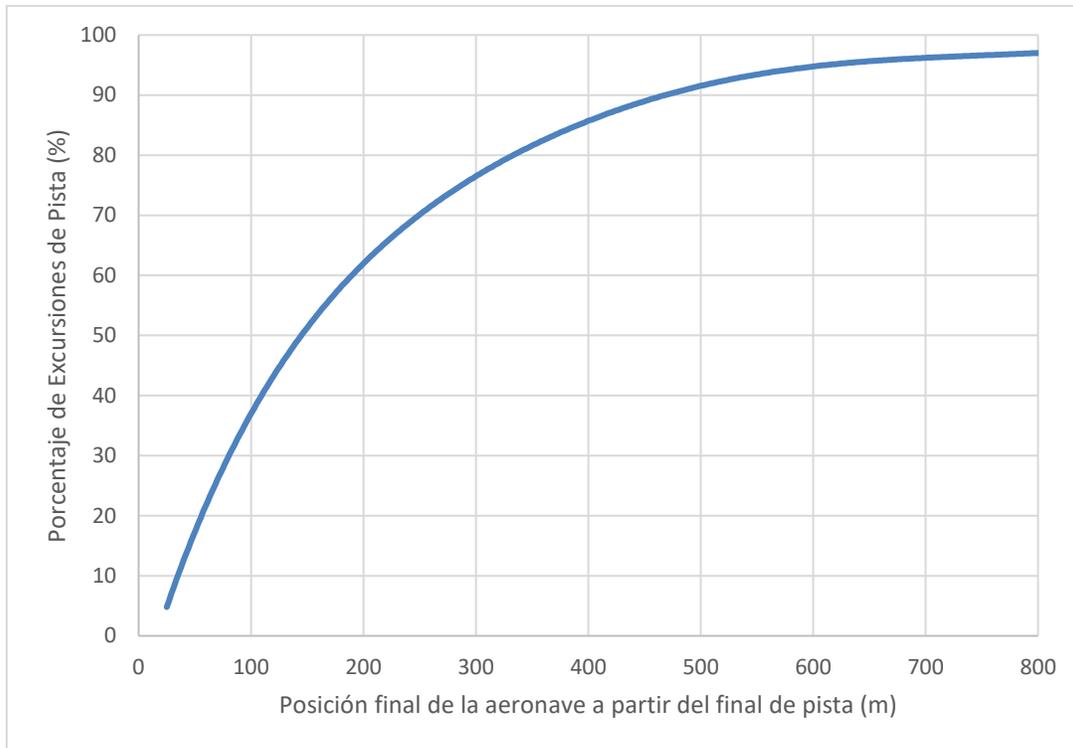


Figura 87. Distribución de la posición final de las aeronaves accidentadas en relación a la distancia recorrida tras sobrepasar la pista. (Fuente: Elaboración Propia).

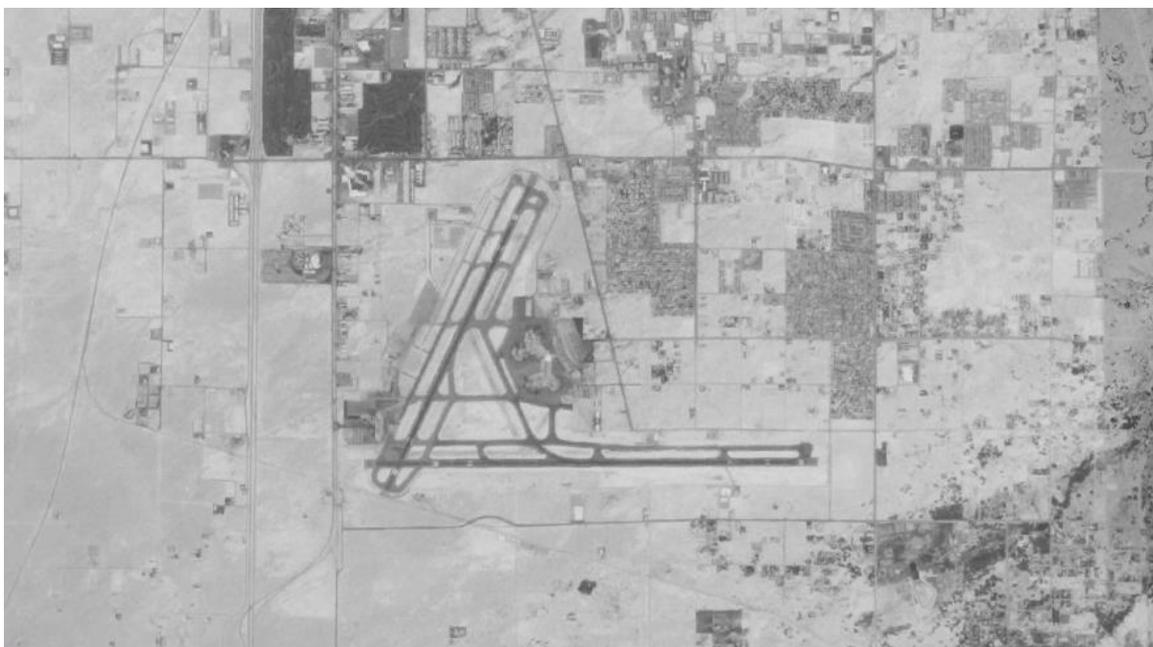
Dado que la mayoría de los aeropuertos fueron construidos antes de que se adoptaran las reglamentaciones establecidas por la OACI, muchos de ellos no se pueden adaptar a dichos estándares. Esto se debe principalmente a obstáculos como lo pueden ser extensiones de agua, autopistas, vías ferroviarias, núcleos urbanos o simplemente la orografía. A sabiendas de este problema, la FAA por ejemplo permite métodos alternativos de forma tal de cumplir con sus estándares, como lo es el denominado *"Engineered Materials Arresting System"* (EMAS), y proveer de un nivel de seguridad que sea equivalente a una RSA. Otra solución adoptada por algunos aeródromos alrededor del mundo es reducir las distancias declaradas para las pistas en cuestión, de forma tal que parte de la RESA esté contemplada dentro de la pista. En este caso, las distancias declaradas afectadas serían la de aceleración-parada disponible (ASDA) y la de aterrizaje disponible (LDA).

De todas las excursiones de pista estudiadas y analizadas, varias de ellas tuvieron consecuencias catastróficas debido a una combinación entre áreas de seguridad de extremo de pista de tamaño insuficiente y la proximidad de zonas urbanas a las cabeceras. Para enfatizar nuevamente la necesidad de la existencia de estas superficies, se estudiarán a continuación los denominados aeropuertos urbanos y cómo este tipo de accidente repercute en la población circundante.

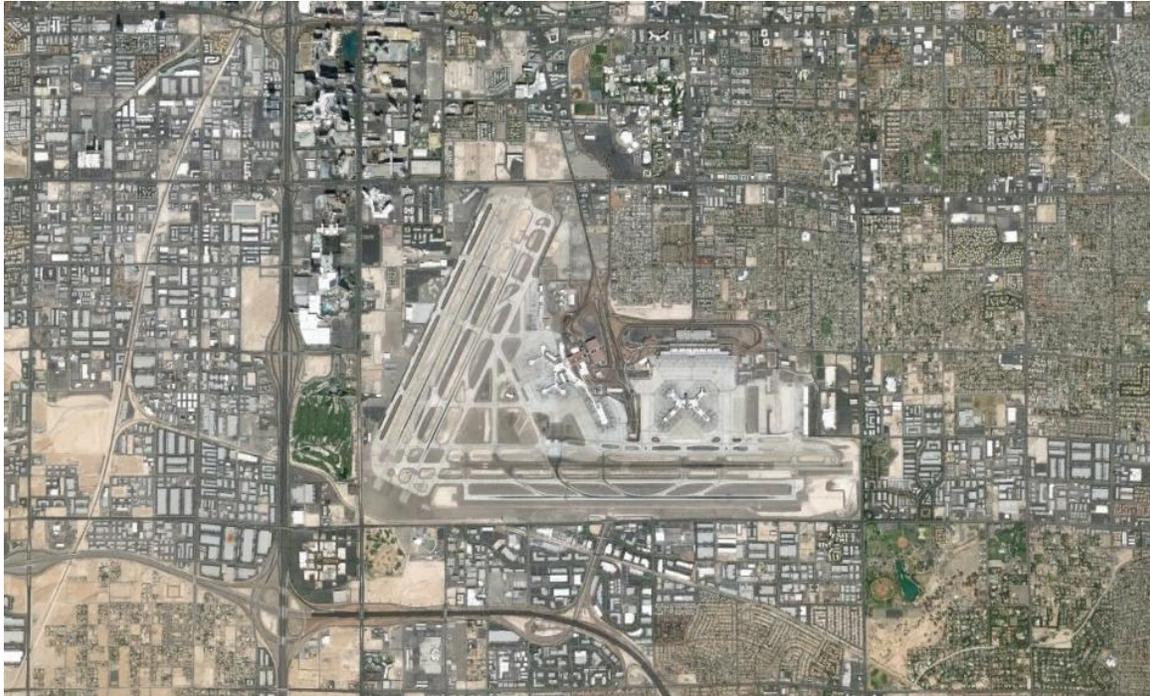
### 3.5.3 El Aeropuerto Urbano

En general, los aeropuertos se emplazan relativamente alejados de los grandes núcleos urbanos. No obstante, con el paso de los años y en función de su crecimiento y su consecuente aumento en los requerimientos de puestos laborales y servicios, han promovido el avance y desarrollo de la o las ciudades próximas. Hoy por hoy, así como antaño lo eran los puertos y el acceso a las vías marítimas, los aeropuertos representan polos de desarrollo urbano. Entre las figuras 88 Y 89 se puede apreciar un ejemplo de crecimiento urbano alrededor de un aeropuerto, concretamente en Las Vegas, Estados Unidos, con el correr de los años.

Dicha situación se ha transformado en uno de los mayores problemas que padecen este tipo de aeropuertos, generando restricciones a su propio desarrollo por la limitación en su capacidad de expansión, necesaria para hacer frente al constante aumento de tránsito de pasajeros y/o carga. Asimismo, una vez alcanzado el desarrollo total de la ciudad sobre el entorno próximo del aeropuerto, surge un nuevo inconveniente. En esta instancia, el aeropuerto también se transforma en un obstáculo para el avance de la ciudad. Esto, sumado a la contaminación acústica, gaseosa y cuestiones seguridad operacional propias de un aeropuerto, inciden negativamente en la aceptación social por parte de la comunidad.



*Figura 88. Aeropuerto Internacional McCarran en 1977, Las Vegas, Estados Unidos.*



*Figura 89. Aeropuerto Internacional McCarran en 2014, Las Vegas, Estados Unidos.*

Una de las mayores problemáticas de los aeropuertos urbanos es la seguridad operacional, entre ellas las excursiones de pista. La cercanía a núcleos de población implica que en el caso de una excursión de pista, principalmente aquellas que ocurren por el final de la misma, el número de personas expuestas al accidente y los daños provocados podrían ser considerablemente mayores. Durante los 20 años en los que se extiende el estudio, se encontró que numerosos aeródromos implicados en este tipo de siniestros caen dentro de la categoría de aeropuertos urbanos. Asimismo, de las 78 excursiones de pista analizadas que provocaron víctimas fatales, en 20 de ellas (25%) hubo entre las fallecidas personas ajenas a la aeronave. En la gran mayoría de los casos, dichas víctimas eran residentes de zonas aledañas al aeródromo.

Llamativamente, la excursión más trágica sucedió en un aeropuerto urbano. El 8 de Enero de 1996, un Antonov-32B, matrícula RA-26222 y operado por la aerolínea Scribe Airlift, no consigue despegar del aeropuerto de N'Dolo en Kinshasa, República Democrática del Congo, y termina saliéndose por el final de pista. Tras recorrer alrededor de 600 metros fuera de la misma, impacta con una feria de mercaderes y provoca la muerte de 237 personas, todas en tierra. Se determinó que la aeronave se encontraba sobrecargada al momento de realizar el despegue.



*Figura 90. Excursión de Pista de un An-32B tras un despegue fallido (R.D.C, 8 de Enero de 1996).*

Cabe destacar que el accidente del vuelo JJ3054, mencionado en el apartado 3.4.2, se corresponde también con una excursión de pista en un aeropuerto urbano. A continuación, se mencionan otros ejemplos notorios de excursiones de pista en este tipo de aeropuertos:

- *29/08/1998. Antiguo Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre, Quito, Ecuador.* El vuelo 389 de Cubana de Aviación, un Tupolev 154M, matrícula CU-T1264, se encontraba dispuesto a partir rumbo a La Habana desde el Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre en Quito, Ecuador, con 77 pasajeros y 13 tripulantes a bordo. Luego de intentar despegar dos veces, la tripulación se dispone a probar una tercera vez. Tras alcanzar la velocidad de rotación  $V_r$ , la aeronave no consigue rotar. Aproximadamente 10 segundos después y con 800 metros de pista remanentes, la tripulación decide abortar el despegue. Consecuentemente, el avión no consigue frenar dentro de los límites de la misma, abandonando el predio aeroportuario y estrellándose contra un campo de fútbol. En el accidente fallecen 70 ocupantes de la aeronave y 10 personas que se encontraban en tierra en ese momento, fuera del aeródromo. Se cree que debido a los problemas durante el arranque de los motores y el tiempo que esto demandó, el último punto de la lista de procedimientos para el rodaje de la aeronave no se llevó a cabo. Dicho ítem contemplaba la selección de los interruptores de las válvulas hidráulicas del sistema de control del avión.



*Figura 91. Excursión de Pista de un Tu-154M tras un despegue abortado (Ecuador, 29 de Agosto de 1998).*

- 21/12/1999. *Aeropuerto Internacional La Aurora, Ciudad de Guatemala, Guatemala.* El 21 de Diciembre de 1999, un McDonnell Douglas DC-10-30, matrícula F-GTDI y operado por la aerolínea francesa AOM, se disponía a aterrizar en el aeropuerto de La Aurora, Guatemala, con 296 pasajeros y 18 tripulantes a bordo. La aeronave toma contacto con la pista en un punto ubicado entre 1220 y 1320 metros desde el umbral desplazado de la cabecera 19. Dicha pista poseía al momento del siniestro un LDA de 2767 metros. Al final de la pista, la aeronave se desvía de su curso hacia la derecha, saliéndose de la misma y cayendo en el precipicio que antecede a la cabecera de la pista 01. Fallecen un total de 18 personas, de las cuales 2 se encontraban en tierra al momento del accidente. A esto hay que sumarle un total de 8 viviendas destruidas. El accidente fue resultado de un aterrizaje largo sobre una pista mojada, sin la decisión de realizar un *Go-Around* cuando las condiciones lo ameritaban, seguido de un proceso de desaceleración no óptimo.



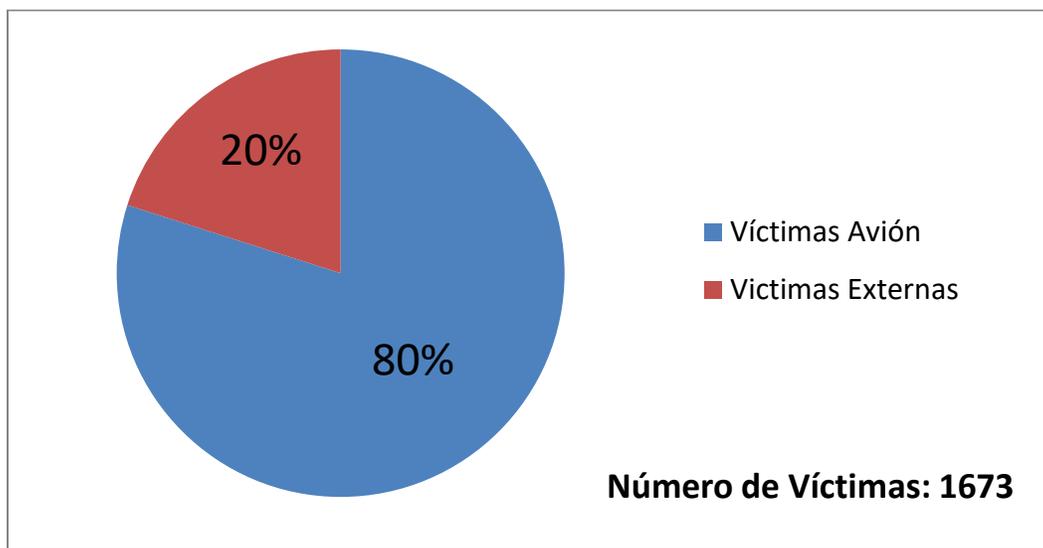
*Figura 92. Excursión de Pista de un DC-10-30 tras un aterrizaje largo (Guatemala, 21 de Diciembre de 1999).*

- 15/04/2008. *Aeropuerto de Goma, Goma, República Democrática del Congo*. El 15 de Abril de 2008, el vuelo 122 de Hewa Bora Airways, un McDonnell Douglas DC-9-51, matrícula 9Q-CHN, se estrella en un área residencial de la ciudad de Goma, en la R.D.C. A bordo de la aeronave viajaban 86 pasajeros y 8 miembros de la tripulación. Durante la carrera de despegue, y a gran velocidad, se produce una pérdida de empuje en uno de los motores del avión, posiblemente debida a la ingestión de agua. La tripulación decide abortar el despegue pero no consigue frenar la aeronave antes del final de pista. Fallecen 3 pasajeros y 37 personas que se encontraban en tierra.



*Figura 93. Excursión de Pista de un DC-9-51 tras un aterrizaje largo (Guatemala, 21 de Diciembre de 1999).*

Concretamente, de la totalidad de los fallecidos habidos a lo largo de los 20 años de excursiones de pista analizadas, un 20% eran víctimas ajenas a la aeronave que se encontraban en tierra al momento del siniestro.



*Figura 94. Porcentaje de víctimas ajenas a la aeronave. (Fuente: Elaboración Propia).*

En el apartado siguiente se analizarán una serie de aeropuertos urbanos para comprender el impacto y el riesgo potencial que suponen las excursiones de pista para la población circundante y el aeropuerto propiamente dicho.

### **Las Excursiones de Pista y los Aeropuertos Urbanos**

A diferencia de los aeropuertos rurales, semi-rurales o costeros, donde en las proximidades hay pocos o ningún asentamiento urbano, los aeropuertos urbanos se encuentran prácticamente rodeados por zonas residenciales y/o industriales. En consecuencia, tras una excursión de pista, existe un mayor riesgo potencial hacia las vidas y la infraestructura de lo que se encuentra del otro lado del perímetro aeroportuario. En el apartado anterior se pudo comprobar cómo este tipo de aeropuertos no está exentos de la posibilidad de una excursión de pista y cómo en numerosas ocasiones la aeronave finalizó fuera del predio del aeródromo, estrellada contra edificaciones urbanas.

En este apartado se estudiarán tres aeropuertos urbanos distintos, donde la problemática expuesta por las excursiones de pista alcanza niveles distintos. Para ello, valiéndose de imágenes satelitales de los aeropuertos en cuestión y para ambas cabeceras, se superpondrán las posiciones finales de las aeronaves accidentadas representadas en la figura 75. Puesto que todas las pistas varían en ancho y longitud, para cada una de ellas se adaptará, según corresponda, dicho mapa de siniestros.

#### **A) Aeropuerto Internacional de Dubái (Código OACI: OMDB).**

El Aeropuerto Internacional de Dubái es el principal aeropuerto en la ciudad de Dubái, en los Emiratos Árabes Unidos. En 2014 fue el sexto aeropuerto a nivel mundial, tanto en tráfico de pasajeros como de carga. Se trata de un contribuyente importante a la economía local, empleando alrededor de 90.000 personas y aportando más de US\$26 mil millones, lo que representa un 27% del Producto Bruto Interno (PBI) de Dubái (*Fuente: Oxford Economics*). Funciona como *Hub* principal de la aerolínea Emirates.

Tabla 1. Estadísticas 2014 del Aeropuerto Internacional de Dubái. (Fuente: ACI. Las cifras son preliminares).

ESTADÍSTICAS 2014	
<b>PASAJEROS</b>	70.475.636
<b>MOVIMIENTOS</b>	357.339
<b>CARGA (TN MÉTRICAS)</b>	2.367.574



Figura 95. Vista panorámica del Aeropuerto Internacional de Dubái.

Emplazando las excursiones de pista sobre una imagen satelital del aeropuerto, se obtiene la figura 96. En negro se remarca la pista en cuestión, mientras que los puntos en rojo se corresponden con todas aquellas excursiones de pista que pudieron ser posicionadas. Además, con una línea de color amarillo se representa el perímetro aeroportuario.



*Figura 96. Excursiones de Pista emplazadas en el Aeropuerto Internacional de Dubái, Dubái, Emiratos Árabes Unidos. (Fuente: Elaboración Propia).*

Como puede observarse, si bien el aeródromo está completamente rodeado por núcleos urbanos, la gran mayoría de las excursiones de pista quedarían emplazadas dentro del predio aeroportuario. Aun cuando al año 2014, según el *Airport Awareness Briefing Manual* emitido por la Autoridad de Aviación Civil de Dubái, ninguna de las pistas posee una RESA declarada, existe un prolongado espacio físico entre el final de pista y la cerca perimetral, reduciendo las posibilidades de que la aeronave termine fuera del aeropuerto. Más allá de esto, hay un determinado número de siniestros ubicados tras las cabeceras 12L y 30L que finalizan con la aeronave fuera del predio, concretamente sobre edificaciones urbanas y una autopista. Si bien en este caso son una minoría, no dejan de presentar un problema importante, ya sea para el aeropuerto y los servicios de salvamento, como para la integridad de la ciudad y sus habitantes.

Las aeronaves comerciales de hoy en día tienen la capacidad de transportar cientos de pasajeros y tripulación. Por lo tanto, debido al riesgo y la probabilidad de que un accidente aéreo se traduzca en masivas pérdidas humanas, es crítico que exista un servicio de respuesta en caso de emergencia y que éste pueda acceder a la escena en el menor tiempo posible. El Anexo 14 de la OACI estipula que los Estados deben proporcionar en sus aeropuertos, dependiendo de la categoría del mismo, material y servicios de salvamento y extinción de incendios. Siempre que ocurra un incidente o accidente dentro del predio aeroportuario y, potencialmente, en las cercanías del mismo (posible caso de una excursión de pista), es responsabilidad del Servicio de Salvamento y Extinción de Incendios (SSEI) asegurar y preservar la vida de los seres humanos envueltos en el siniestro. Por ende, la

infraestructura aeroportuaria debe estar lo debidamente preparada para asegurar una rápida y eficaz intervención por parte del SSEI. En los aeropuertos urbanos, como lo es el de Dubái y otros muchos más, este accionar del SSEI puede verse ralentizado en caso de una excursión de pista que se prolongue más allá del predio aeroportuario e interfiera con la rutina ciudadana (transeúntes, tráfico urbano, calles angostas, obstáculos, etc.). Por ello, es necesario enlazar lo establecido por el código aeronáutico con el código urbano, de forma tal de, por ejemplo, estar preparados para proveer caminos de acceso inmediato a la escena de un siniestro aéreo en caso de necesidad.

En cuanto a la zona de plataformas y terminales del aeropuerto de Dubái, en general se encuentran lo suficientemente alejadas del peligro que conllevan las excursiones de pista según se aprecia en la figura 96.

#### **B) Aeropuerto Internacional Atatürk (Código OACI: LTBA).**

El Aeropuerto Internacional Atatürk es el principal aeropuerto en la ciudad de Estambul, en Turquía, y el aeropuerto más importante de todo el país en términos de pasajeros transportados y movimientos de aeronaves. Concretamente, en 2014 fue el 13° aeropuerto a nivel mundial en tráfico de pasajeros y el 14° en movimientos. Se trata de uno de los aeropuertos con mayor crecimiento en el mundo, particularmente en los años recientes donde ha duplicado la cantidad de pasajeros, en línea con el crecimiento económico del país. Funciona como *Hub* principal de la aerolínea Turkish Airlines.

*Tabla 2. Estadísticas 2014 del Aeropuerto Internacional de Atatürk. (Fuente: ACI. Las cifras son preliminares).*

<b>ESTADÍSTICAS 2014</b>	
<b>PASAJEROS</b>	56.695.166
<b>MOVIMIENTOS</b>	439.532
<b>CARGA (TN MÉTRICAS)</b>	1.631.528



*Figura 97. Vista panorámica del Aeropuerto Internacional Atatürk.*

A continuación, se emplazan las excursiones de pista sobre una imagen satelital del aeropuerto y se obtiene la figura 98. En negro se remarca la pista en cuestión, mientras que los puntos en rojo se corresponden con todas aquellas excursiones de pista que pudieron ser posicionadas. Además, con una línea de color amarillo se representa el perímetro aeroportuario.



*Figura 98. Excursiones de Pista emplazadas en el Aeropuerto Internacional de Atatürk, Estambul, Turquía. (Fuente: Elaboración Propia).*

Así como sucedía con el Aeropuerto de Dubái, el Aeropuerto de Atatürk no posee una RESA declarada en ninguna de sus tres pistas. Prestando particular atención a las cabeceras 17L y 17R, aproximadamente a 250 metros del final de pista existe un terraplén pronunciado, y a 500 metros se encuentra una autopista y dan comienzo las áreas residenciales. Como se puede observar en la figura 98, un gran número de excursiones de pista se encuentran por fuera del perímetro aeroportuario, principalmente en las cabeceras ya mencionadas. Por consiguiente, a diferencia de lo que ocurría en el Aeropuerto de Dubái, las probabilidades de que en este caso una excursión de pista termine fuera del aeropuerto son mayores. A menos que el terraplén sea debidamente nivelado para poder implementar una RESA de 300 metros de longitud, podría estudiarse la posibilidad de instalar sistemas alternativos de prevención como los son el EMAS. Cabe señalar que en el período que abarca el informe ocurrieron un total de 7 excursiones de pista en este aeródromo.

A día de hoy, y motivado por el crecimiento exponencial de la zona, el Aeropuerto de Atatürk se enfrenta a problemas de capacidad. Dado que el aeropuerto está inmerso dentro de la ciudad, no existe espacio físico para construir otra pista. Para hacer frente a este problema, el gobierno turco decidió en el año 2013 comenzar a construir un nuevo aeropuerto, a 35 km al noroeste del actual, y posteriormente proceder con el cierre del mismo. Este emplazamiento lo situaría lejos de la ciudad de Estambul, eliminando entre otras cosas el problema actual que podría suponer una excursión de pista. Se pretende que el nuevo aeropuerto tenga una capacidad para atender a 150 millones de pasajeros anualmente, convirtiéndolo en el más grande del mundo.

### C) Aeropuerto de Congonhas (Código OACI: SBSP).

El Aeropuerto de Congonhas es uno de los tres aeropuertos comerciales que operan en San Pablo, Brasil. A día de hoy se trata del segundo aeropuerto con mayor tráfico de pasajeros y movimientos de aeronaves del país. Es propiedad de la ciudad de San Pablo pero se encuentra operado por Infraero. Desde la construcción del Aeropuerto Internacional de San Pablo – Guarulhos en los años 80, el aeropuerto de Congonhas, de menor capacidad y ubicado en el medio de la ciudad, se dedicó casi exclusivamente a operar solo con vuelos domésticos. Por esta razón, y promovido por una fuerte opinión pública tras una serie de accidentes, en 2008 dejó de ser un aeropuerto internacional.

Tabla 3. Estadísticas 2014 del Aeropuerto de Congonhas. (Fuente: Infraero).

ESTADÍSTICAS 2014	
PASAJEROS	18.134.768
MOVIMIENTOS	205.407
CARGA (TN MÉTRICAS)	44.292



Figura 99. Vista panorámica del Aeropuerto de Congonhas.

A continuación, se emplazan las excursiones de pista sobre una imagen satelital del aeropuerto y se obtiene la figura 100. En negro se remarca la pista en cuestión, mientras que los puntos en rojo se corresponden con todas aquellas excursiones de pista que pudieron ser posicionadas. Además, con una línea de color amarillo se representa el perímetro aeroportuario.



*Figura 100. Excursiones de Pista emplazadas en el Aeropuerto de Congonhas, San Pablo, Brasil. (Fuente: Elaboración Propia).*

El Aeropuerto de Congonhas representa un claro ejemplo de un aeropuerto urbano donde la problemática de las excursiones de pista alcanza niveles críticos. En la figura 100 se observa cómo la gran mayoría de las excursiones finalizan con la aeronave en plena ciudad de San Pablo. Esto es equivalente a decir que, en caso de una excursión de pista, las probabilidades de que una aeronave sobrepase el perímetro aeroportuario e irrumpa en la cotidianidad de la ciudad, son peligrosamente elevadas. En ninguna de sus pistas, el aeropuerto de Congonhas dispone de espacio físico para implementar una RESA, ni siquiera la estipulada como obligatoria por la OACI de 90 metros de longitud. Por ende, y dada su localización e historial de siniestros, se trata de un aeródromo donde debería considerarse seriamente la instalación de un sistema EMAS, por lo menos para la pista de mayor utilización.

Como ya se mencionara, el aeropuerto tiene un historial extenso de accidentes e incidentes aéreos, principalmente ligados a una condición de pista mojada. Entre ellos se encuentra el accidente del vuelo 3054 de TAM en el año 2007, donde fallecieron 199 personas y de las cuales 12 se encontraban en tierra (ver apartado 3.4.2). Este accidente supuso un antes y un después para el aeropuerto de Congonhas dado que, tras la subsecuente presión pública hacia una mayor seguridad y reducción de la contaminación acústica, obligó al gobierno brasileño a tomar serias medidas. Sus operaciones se vieron significativamente alteradas a través de la restricción en el número de *slots* por hora, una disminución en las distancias de vuelo permitidas y un horario de cierre de operaciones del aeropuerto entre las 23:30 y las 6:00 horas. Además, se redujo el peso máximo permitido de las aeronaves.

### 3.5.4 Alternativa a la RESA: "*Engineered Materials Arresting System*" (EMAS)

Muchos de los aeródromos envueltos en las excursiones de pista fueron construidos antes de que los estándares establecidos por la OACI, en lo que a la RESA se refiere, fueran emitidos. Esto provoca que en varios casos, no sea posible alcanzar las dimensiones necesarias de RESA establecidas, principalmente debido a la falta de espacio físico. En otros casos, podría haber obstáculos como la presencia de agua, edificaciones o la propia orografía del terreno que impidiese la construcción de la misma. Es así como en los años 80, promovidos por una serie de excursiones de pista, la FAA y la US Air Force (USAF), con ayuda de otros organismos e instituciones, comenzaron a desarrollar el denominado "*Engineered Materials Arresting System*" (EMAS). Aun así, no fue hasta 1998 que la FAA emitió las primeras especificaciones generales para la construcción, instalación y mantenimiento del EMAS.

El EMAS consiste de materiales de elevada capacidad de absorción energética, con una dureza particular, que se deformarán bajo el peso de una aeronave de una manera fiable y predecible de forma tal de proveer una desaceleración suave y constante a la misma. Se diseña para minimizar los daños potenciales que pueda sufrir la aeronave tras una excursión de pista, dado que dichos daños podrían resultar en heridas, de distinta magnitud, a los pasajeros. Su vida útil estimada es de 20 años y el sistema debe estar diseñado para que, tras una excursión de pista, pueda ser reparado dentro de los 45 días posteriores. Asimismo, debe constar de un sistema de drenaje adecuado para evitar la acumulación de agua en su superficie.

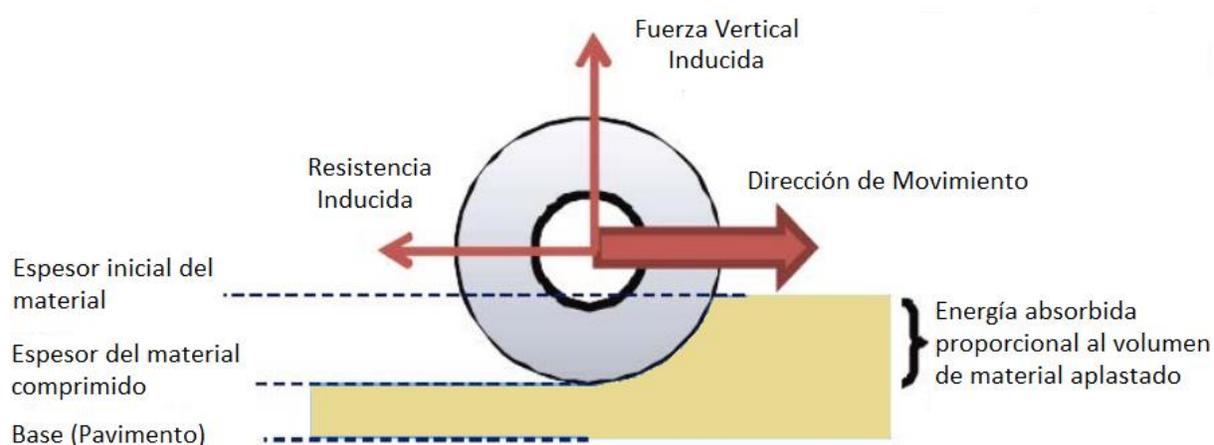


Figura 101. Principio de funcionamiento del sistema EMAS.

Por lo general, el EMAS está diseñado a base de bloques prefabricados de hormigón aplastable y que poseen diversas propiedades particulares (no inflamable, resistente al agua, no tóxico, exhibir las mismas características de dureza y densidad independientemente del clima, etc.). El desempeño del sistema depende del peso de la aeronave, la configuración del tren de aterrizaje y la presión de inflado de los neumáticos. A medida que la aeronave circula por el EMAS, las ruedas del tren de aterrizaje se hunden en el hormigón débil, y al rodar por el material la aeronave desacelera. La energía empleada en la deformación del material es la que se traduce en una fuerza de desaceleración para la aeronave.

El EMAS se ubica al final de la pista, centrado en la prolongación del eje de la misma. Debe ser colocado lo más lejos del final de la misma que sea tanto práctico como posible de forma tal de evitar o disminuir posibles daños al sistema provenientes de aterrizajes o excursiones de pista cortas. A su vez, esta separación ayuda a reducir daños que podrían ocasionar los gases de escape de los motores.

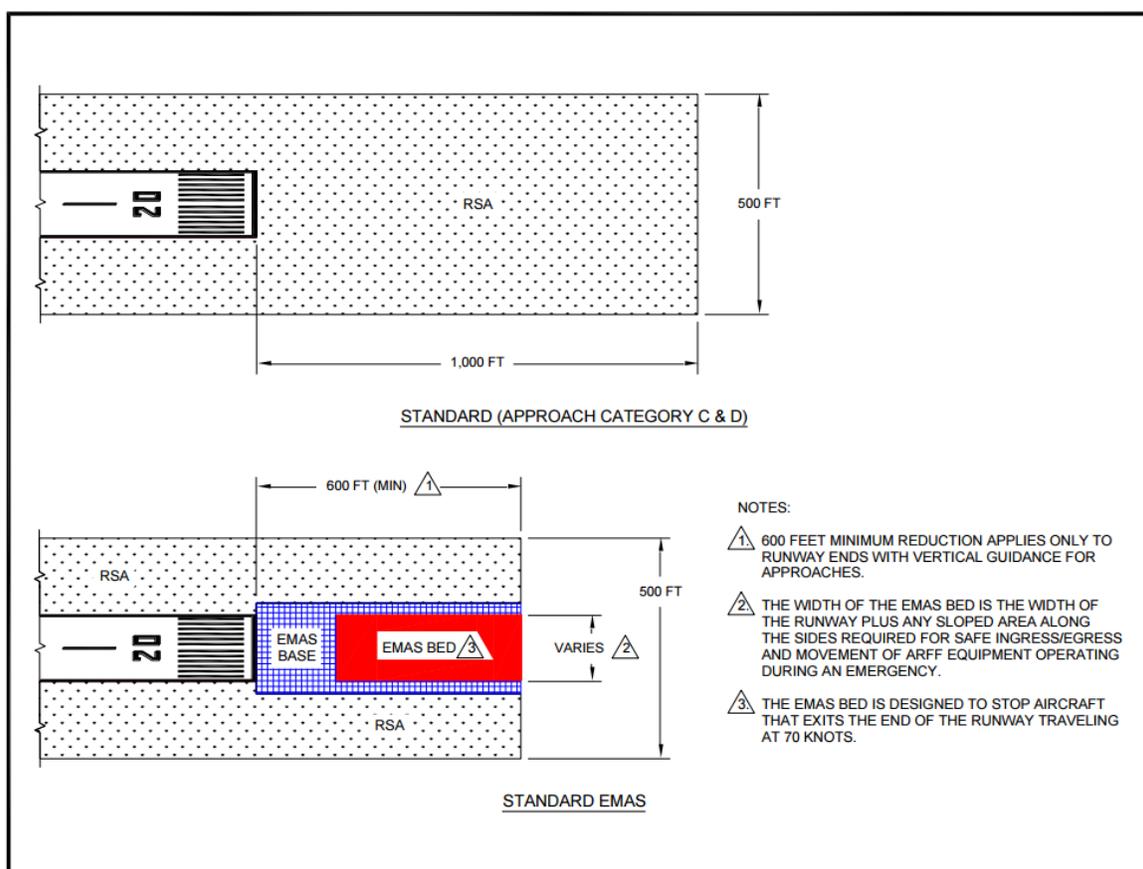
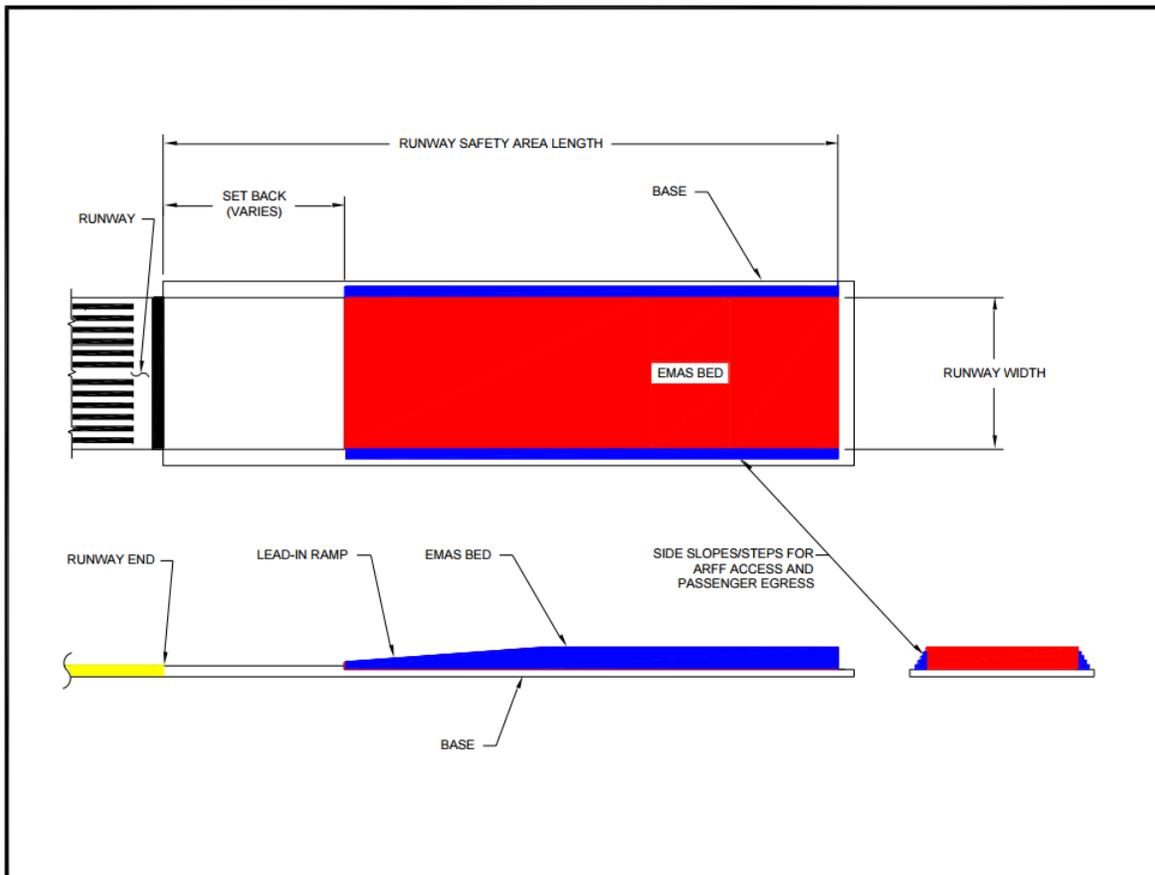


Figura 102. Comparación de las dimensiones del sistema EMAS y la RSA. (Fuente: AC No: 150/5220-22B, FAA)

Un EMAS estándar puede detener completamente una aeronave que no consiga frenar dentro los límites de la pista y sobrepase la misma a una velocidad aproximada de 70 nudos (130 km/h). Asimismo, no debe someter la aeronave a cargas que superen los límites de diseño ni fuerzas excesivas sobre sus ocupantes.



*Figura 103. Dimensiones y características del sistema EMAS. (Fuente: AC No: 150/5220-22B, FAA)*

Hasta la fecha, muy pocos aeropuertos alrededor del mundo poseen este sistema. La mayoría de ellos se encuentran en Estados Unidos debido a una fuerte política existente que enfatiza la necesidad de cumplimentar con los estándares de la RSA o equivalentes. Existen unos pocos, como lo pueden ser el aeropuerto de Madrid-Barajas (España) o el de Juizhai Huanglong (China), fuera de los Estados Unidos, que también poseen el EMAS.



Aeropuerto de Juizhai Huanglong (China)



Aeropuerto de Madrid-Barajas (España)



Aeropuerto de Yeager (EEUU)



Aeropuerto de Boston-Logan (EEUU)

*Figura 104. Instalaciones de EMAS alrededor del mundo.*

Aun cuando hoy por hoy no haya demasiados aeropuertos que consten con este sistema a nivel mundial, ya ha habido varias excursiones de pista a altas velocidades que no han resultado en mayores consecuencias gracias a la presencia del EMAS. A continuación se mencionan algunos de estos ejemplos:

- *30/05/2003. Aeropuerto Internacional John F. Kennedy, Nueva York, Estados Unidos.* Luego de un aterrizaje largo, Un MD-11F operado por la empresa Gemini Air Cargo no consigue frenar dentro de los límites de la pista 4R, resultando en una excursión. Tras salirse de la pista a una velocidad de 60 nudos (111 km/h) y con un peso aproximado de 470.000 lb (213.191 kg), la aeronave entra en el EMAS y 35 metros más adelante consigue detenerse, sufriendo daños leves.



*Figura 105. Excursión de Pista de un MD-11F tras un aterrizaje largo. (Estados Unidos, 30 de Mayo de 2003).*

- 22/01/2005. Aeropuerto Internacional John F. Kennedy, Nueva York, Estados Unidos. Un B747-200 operado por la empresa Polar Air Cargo no consigue frenar dentro de los límites de la pista 4R, resultando en una excursión. Tras salirse de la pista a una velocidad de 70 nudos (130 km/h) y con un peso aproximado de 610.000 lb (276.694 kg), la aeronave entra en el EMAS y 90 metros más adelante consigue detenerse, sufriendo daños leves.



*Figura 106. Excursión de Pista de un B747-200. (Estados Unidos, 22 de Enero de 2005).*

- 19/01/2010. Aeropuerto de Yeager, Charleston, Estados Unidos. Luego de un despegue abortado post  $V_1$ , un CRJ 200 operado por la empresa PSA Airlines no consigue frenar dentro de los límites de la pista 23, resultando en una excursión. Tras sobrepasar la pista a una velocidad de 50 nudos (93 km/h) y con un peso aproximado de 44.400 lb (20.139 kg), la aeronave entra en el EMAS y 39 metros más adelante consigue detenerse, sufriendo daños leves.



*Figura 107. Excursión de Pista de un CRJ200. (Estados Unidos, 19 de Enero de 2010).*

La tecnología EMAS mejora la seguridad operacional cuando no se dispone de terreno o no es posible cumplir con los 1000 pies de longitud para la RSA, establecido por norma por la FAA. Una instalación normal de EMAS por lo general se extiende 600 pies desde el extremo de la pista y provee un nivel de seguridad equivalente a la RSA estándar. Ahora bien, si se dispone de menor distancia, el sistema EMAS puede ser adaptado para así poder ayudar a frenar o a detener una aeronave que sobrepasa la pista.

Cabe mencionar que a día de hoy no existen estándares internacionales que competan al sistema EMAS. El desarrollo, aceptación o inclusión de estos sistemas en los aeropuertos queda relegado a las necesidades y prioridades de los organismos reguladores de los distintos países.

### 3.5.5 Ranurado Transversal de Pistas (*Runway Grooving*)

A lo largo del informe se ha podido comprobar cómo el estado de la pista juega un papel fundamental a la hora de minimizar la posibilidad de una excursión de pista. Si ésta se encuentra húmeda o mojada, la capacidad de frenado de la aeronave se verá reducida debido a una disminución en el coeficiente de fricción, aumentando conforme el nivel de agua sobre la superficie incrementa. En los peores casos, como ya se mencionara en el apartado 3.4.1, la aeronave podría sufrir un hidroneo dinámico. Para reducir las probabilidades de que esto ocurra y evitar una disminución en el coeficiente de fricción a causa de la acumulación de agua, las pistas pueden ser diseñadas y construidas con ranuras o surcos transversales.

Las primeras pistas con ranurado transversal aparecieron en aeródromos militares en el Reino Unido a mediados de la década de 1950. Unos años más tarde, la NASA en Langley, Estados Unidos, forma un grupo de investigación y desarrollo para llevar a cabo ensayos y determinar los efectos de este tipo de pistas sobre el desempeño del frenado de la aeronave. Estos ensayos en vuelo fueron realizados utilizando un F-4D de la Fuerza Aérea y un Convair 990 de la NASA. A través de una serie de aterrizajes realizados por el Convair en una pista debidamente preparada, se demostró cómo el ranurado transversal proveía de niveles de rozamiento sustancialmente mayores que aquellos obtenidos en pistas sin dicho ranurado. A la velocidad crítica de hidroplaneo de la aeronave de 115 nudos (213 km/h), el coeficiente de fricción efectivo cuando la pista se encontraba mojada y ranurada era de 0,3/0,35, en contraste con el valor de 0,04/0,1 cuando la pista se encontraba mojada y sin ranurar. La imagen a continuación, extraída del informe publicado por la NASA tras estos estudios, resume las distancias de frenado requeridas por el Convair 990 según el estado en que se encontraba la pista y si estaba o no ranurada.

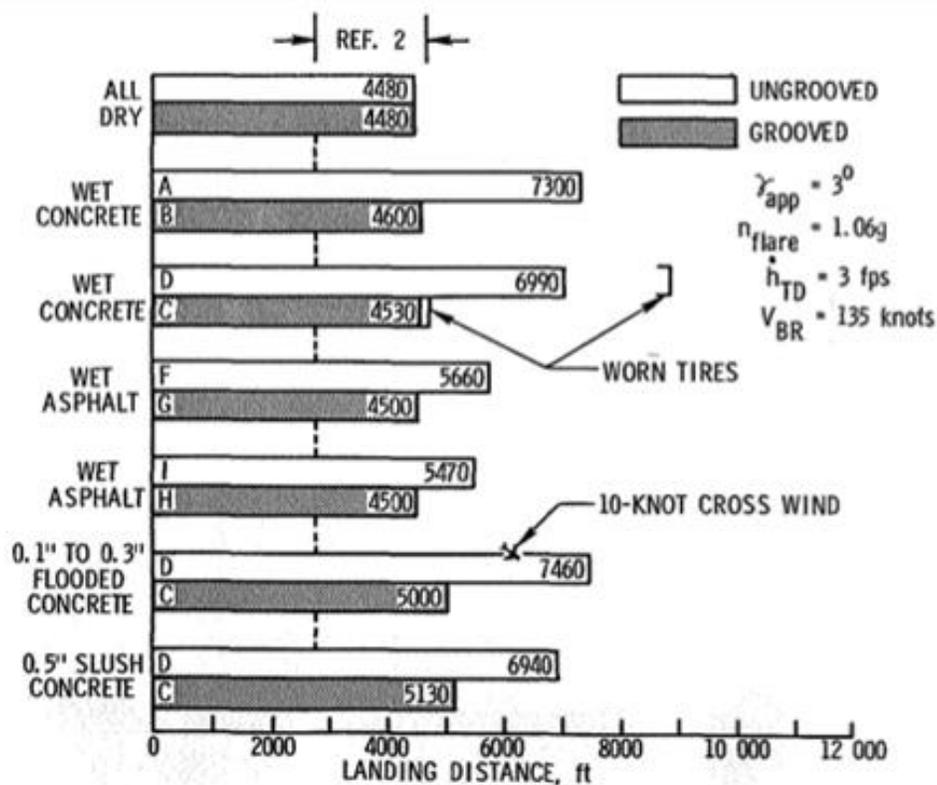


Figura 108. Distancias de aterrizaje para el Convair 990A. Día Estándar, a nivel del mar y con un peso de 202000 lb. (Fuente: Pavement Grooving and Traction Studies, NASA).

Se observa entonces que, el ranurado transversal reduce eficazmente las distancias de aterrizaje requeridas por las aeronaves bajo condiciones climatológicas adversas, ya fueran las superficies de hormigón o asfalto.

El objetivo principal de agregar ranuras transversales en el pavimento de la pista es mejorar tanto su drenaje superficial como el drenaje del agua ocluida entre el neumático y la superficie. Esencialmente, el drenaje natural de la pista depende de la pendiente lateral con la que fuera construida. Aun así, este drenaje puede verse ralentizado por su textura superficial, pero puede ser mejorado a través de estas ranuras, que proveen un camino de drenaje más corto y rápido. Asimismo, este ranurado provee canales de escape para el agua que se encuentra atrapada en el área de contacto entre el neumático y la superficie de la pista, minimizando las probabilidades de un hidroplaneo.



*Figura 109. Comparación visual entre un pavimento con y sin ranurado transversal.*

### 3.6 Las Excursiones de Pista y el Avión

Las excursiones de pista suponen el accidente aéreo más recurrente. En consecuencia, el desarrollo de métodos para la mitigación de éstas, ya sea de sus probabilidades de ocurrencia o de sus consecuencias, se torna crucial. A día de hoy, existen diversas técnicas para lograr esto. Entre ellas se incluyen: Procedimientos para aproximaciones seguras, un adecuado entrenamiento a pilotos, énfasis en políticas claras acerca de los *Go-Arounds*, estado y calidad de la superficie de la pista, así como la posibilidad de contar con ranurado transversal, o los sistemas ya estudiados de RESA y EMAS. A todos ellos, habría que añadirle los novedosos sistemas en tecnología de abordaje de *SmartRunway/SmartLanding* (SR/SL) o el *Runway Overrun Prevention System* (ROPS), cuya descripción se realizará a continuación.

A diferencia de la RESA o el EMAS, sistemas pasivos que se emplazaban tras el final de la pista, el ROPS es un sistema activo instalado en la cabina de la aeronave, desarrollado por el fabricante Airbus y que surge como una evolución del sistema *Brake-to-Vacate* (BTV). Fue aprobado por primera vez por la *European Aviation Safety Agency* (EASA) en el Airbus A380 en Octubre de 2009 y es parte de la configuración básica del A350 XWB. Unos años más tarde, en 2013, el sistema obtuvo la certificación tanto de la FAA como de la EASA para ser incluido dentro de la familia de los A320. Cabe señalar que, si bien el ROPS está patentado por el Airbus, el sistema también se ofrece a otros competidores.

El ROPS se encuentra integrado dentro de los sistemas de gestión de vuelo y navegación, y asiste a la tripulación durante la aproximación y la carrera de aterrizaje de forma tal de prevenir un *Overrun* de la pista. Integra dos funciones distintas:

- Un sistema de alarma, denominado *Runway Overrun Warning* (ROW), que funciona durante el vuelo y está orientado a la decisión del *Go-Around*. El ROW proporciona a la tripulación, en tiempo real, una estimación de la carrera de aterrizaje en relación a la LDA detectada.
- Un sistema activo de protección, denominado *Runway Overrun Protection* (ROP), que funciona una vez en tierra y está orientado a detener la aeronave. El ROP proporciona a la tripulación, en tiempo real, una estimación de la distancia de frenado en relación a la LDA detectada.

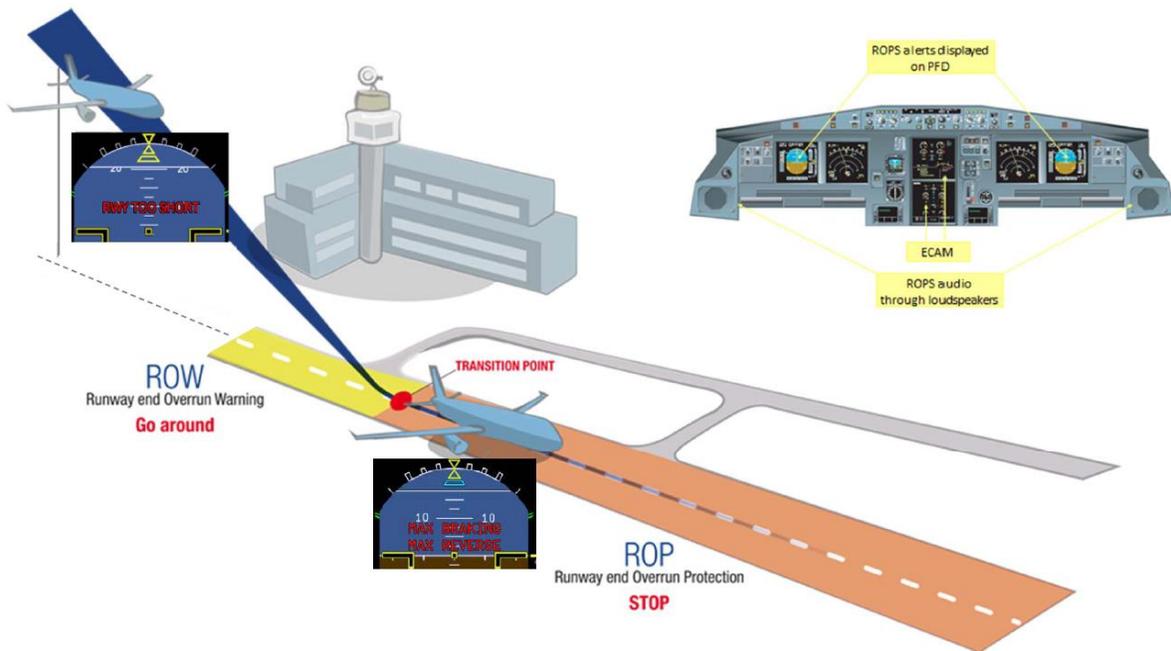


Figura 110. Diferencias entre las funciones ROW y ROP. (Fuente: Airbus).

Por debajo de los 500 pies de radio altura hasta la activación del sistema de autobrake (punto de transición entre un sistema y el otro), el ROW calcula y muestra en la pantalla del sistema de navegación (ND) mediante dos líneas las distancias de aterrizaje predichas para una condición de pista seca (DRY) y otra mojada (WET). En caso de que la distancia predicha se corresponda con un *Overrun*, se disparan una serie de alarmas y alertas. La distancia de aterrizaje se calcula teniendo en cuenta diversas variables: Peso de la aeronave, velocidad con respecto al suelo, condiciones de viento, configuración para el aterrizaje y la trayectoria horizontal y vertical con respecto al umbral de pista.

La línea DRY provee de una distancia de aterrizaje que puede ser conseguida, bajo condiciones normales de operación, en una pista seca. Esta distancia asume:

- Un aterrizaje realista, manual o automático y con un flare estándar;
- Una desaceleración equivalente a la provista por el Autobrake en modo *High*;
- Una pista seca, realista y con unos niveles de contaminación por caucho normales;
- Reversores en ralentí;
- Márgenes de precaución para la precisión del sistema.



En caso de que la línea WET quede por detrás del final de la pista, ésta cambiaría a un color ámbar en la pantalla de visualización del sistema de navegación y un aviso de precaución se mostraría en el PFD.



Figura 112. Visualización del PFD y ND en caso de un aviso del ROW por pista mojada.  
(Fuente: Airbus).

Si la línea DRY también queda por detrás del final de la pista, ambas líneas cambiarían a un color rojo en la pantalla de visualización del sistema de navegación y un aviso de alerta se mostraría en el PFD. Además, si la aeronave se encuentra por debajo de 200 pies, también sonaría repetidamente una alarma en cabina.



Figura 113. Visualización del PFD y ND en caso de un aviso del ROW por pista seca.  
(Fuente: Airbus).

En el primer caso, si la pista efectivamente se encontrará mojada, según los SOP, la acción correctiva a tomar por parte de la tripulación sería llevar a cabo un *Go-Around*. En cambio, en el segundo caso, independientemente de la condición de pista, la decisión debería ser llevar adelante el *Go-Around*.

Una vez la aeronave realiza la toma de contacto con la pista, luego de la activación del sistema de autobrake y hasta que la aeronave se detiene, el ROP calcula y muestra en la pantalla del sistema de navegación una línea de parada de color verde o rojo, según corresponda, indicando el punto de detención de la aeronave. Si es necesario, el ROP aumentará automáticamente al máximo el frenado y avisará mediante diversas alertas en caso de que se cumplan las condiciones para un *Overrun*.

La línea de parada de color verde provee de la mejor estimación posible acerca del remanente de pista necesaria para frenar la aeronave, integrando la velocidad actual de la misma, la tasa de desaceleración y la distancia al final de pista. Constantemente se actualiza teniendo en cuenta las condiciones actuales de frenado (coeficiente de fricción y pendiente de la pista, reversores, antiskid, etc.). Si el aterrizaje se lleva a cabo a pesar de las alertas del sistema ROW, o si la desaceleración de la aeronave no es la suficiente, la línea de parada del ROP aparecerá detrás del final de la pista. En esta situación, dicha línea se torna de color rojo y un aviso de alerta se mostraría en el PFD. Asimismo, se aplican automáticamente los frenos al máximo y una alerta sonora se dispara avisando a la tripulación de seleccionar los reversores, también al máximo.

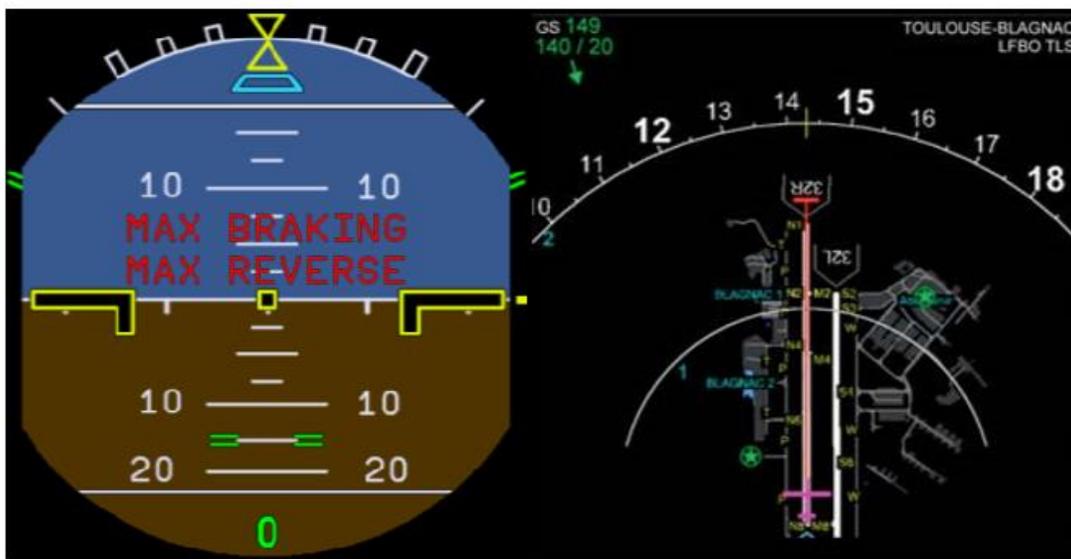


Figura 114. Visualización del PFD y ND en caso de un aviso del ROW por pista seca.  
(Fuente: Airbus).

## 4. Conclusiones

Las excursiones de pista suponen el tipo de accidente aéreo más recurrente. A lo largo de este informe, se estudiaron y caracterizaron un total de 630 excursiones de pista ocurridas entre 1990 y 2010 inclusive. Partiendo de un análisis general del accidente, se buscó obtener fecha y lugar de ocurrencia, y consecuencias del mismo; así como también información acerca de la aeronave siniestrada. De esta forma, se caracterizó cada excursión de pista. Durante este período se encontró que:

- Las excursiones de pista son más frecuentes en el aterrizaje que en el despegue, aproximadamente en una proporción de 3 a 1;
- Son más frecuentes las excursiones de pista del tipo *Overrun* (57%) que las del tipo *Veer-Off* (43%);
- África en conjunto con Medio Oriente agrupan un 30% del total de las Excursiones de Pista. En contraste, dicha zona comprende únicamente el 6,3% del tráfico de pasajeros a nivel mundial (Año 2013);
- Hubo un total de 1673 fallecidos en los 21 años en los que se extiende el estudio, traduciéndose en que no es un accidente aéreo con una tasa de mortalidad elevada;
- Las pérdidas materiales fueron significativas. Tras una excursión de pista, en la mayoría de los casos la aeronave quedaba completamente inutilizable o su reparación no era económicamente viable.

Asimismo, se investigaron en detalle los factores y/o causas que devinieron en el accidente aéreo y posteriormente se analizaron aquellos con mayor número de incidencias. Entre los factores responsables de las excursiones de pista se puede encontrar una amplia variedad, desde factores climatológicos hasta fallas mecánicas en los dispositivos de la aeronave o errores en la toma de decisión por parte de los pilotos. A continuación se destacan los puntos más importantes de cada uno de ellos:

### **1. Condiciones Meteorológicas:**

- Están presentes en casi el 50% del total de las excursiones de pista estudiadas. Entre los factores que más se destacan se encuentran: Contaminación de la superficie de pista por agua, nieve o hielo, condiciones de viento o visibilidad reducida;
- Es improbable que la única causa de una excursión de pista se atribuya a las condiciones climatológicas;

- La presencia de agua o nieve en una pista supone la reducción en el coeficiente de fricción de su superficie y la posibilidad de que haya un hidroplaneo de la aeronave;
- Mientras las excursiones de pista con viento de cola son prácticamente siempre del tipo *Overrun*, las excursiones de pista con viento cruzado generalmente son del tipo *Veer-Off*.

## **2. Decisiones, acciones y performance de la tripulación:**

- Están presentes en más del 60% del total de las excursiones de pista estudiadas. Entre los factores más reiterados se encuentran: Aterrizajes largos y/o rápidos, despegues abortados o el uso tardío de los dispositivos de frenado de la aeronave;
- La toma de decisiones o acciones desacertadas por parte de la tripulación suele ser consecuencia de desvíos en la utilización de las SOP, pérdida de conciencia situacional o un pobre CRM;
- Los aterrizajes largos y/o rápidos generalmente son consecuencia de Aproximaciones desestabilizadas;
- El 60% de los despegues abortados encontrados se llevó a cabo pasada la velocidad de decisión  $V_1$ ;
- Es crítico para una correcta y segura desaceleración de la aeronave la utilización en tiempo y forma de los dispositivos de frenado.

## **3. Sistemas de la aeronave:**

- Están presentes en más del 20% del total de las excursiones de pista estudiadas. Entre las factores más reiterados se encuentran: Aquaplaning, fallas en las cubiertas o el sistema de frenos del tren de aterrizaje y fallas en los reversores;
- El Hidroplaneo puede evitar la activación de diversos sistemas de desaceleración de los que dispone la aeronave dado que las ruedas no podrán comenzar a girar.

En el informe también se analizó la posición final de la aeronave accidentada tras una excursión, estudiando las zonas asociadas a la pista, principalmente la RESA. Se demostró cómo una RESA con una longitud total de 240 metros supone grandes beneficios a la hora de minimizar las consecuencias de una excursión de pista, aun cuando al año 2015 la OACI sigue considerándola como una recomendación y no una obligación. La OACI debería escuchar las sugerencias emitidas por el IFALPA y modificar esta normativa, así como hizo la FAA hace ya unos cuantos años. En caso de no disponerse de terreno suficiente para la implementación de la RESA, hoy por hoy existen alternativas como el EMAS que proveen un nivel de seguridad equivalente pero requieren de menos espacio físico.

La RESA es importante en cualquier tipo de aeródromo, pero se vuelve crítica en los aeropuertos urbanos, donde tras una excursión de pista existe la posibilidad de que la aeronave sobrepase el perímetro aeroportuario y termine en áreas residenciales. Con el crecimiento económico y el motor que supone para el desarrollo de una región un aeropuerto, año tras año hay más aeródromos de este tipo. Cuando se le añade el hecho de que las excursiones son el tipo de accidente aéreo con mayor ocurrencia, existe un problema potencial que deberá solucionarse. Tanto la autoridad aeroportuaria como el organismo regulador de la actividad aeronáutica, en conjunto con las legislaciones urbanas, serán responsables de garantizar la seguridad y promover medidas para minimizar el posible impacto de estos siniestros sobre la población.

Durante las últimas décadas, el número de accidentes aéreos se ha ido reduciendo gracias a los avances en tecnología y en seguridad operacional. Incluso así, el riesgo de que se produzca una excursión de pista siempre estará latente. Los accidentes seguirán ocurriendo y es responsabilidad de los organismos pertinentes difundir y promover todos aquellos medios que provean de elevados niveles de seguridad, tanto para la integridad de la gente a bordo de la aeronave como para evitar posibles incursiones sobre la población circundante. En el caso de una excursión de pista, la aeronave debería finalizar dentro de las inmediaciones del aeropuerto y en ningún caso alterar el orden urbano.



## 5. Referencias

1. OACI (2010). *Anexo 13. Investigación de accidentes e incidentes de aviación.*
2. OACI (2009). *Anexo 14. Aeródromos.*
3. Boeing (2013). *Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents -Worldwide Operations 1959-2010.*
4. Australian Transport Safety Bureau (2008). *Aviation Research and Analysis Report. Runway Excursions Part 1: A worldwide review of commercial jet aircraft runway excursions.*
5. FSF ALAR Toolkit (2009). *Briefing Note 8.1 – Runway Excursions.*
6. FSF ALAR Toolkit (2009). *Briefing Note 8.5 – Wet or Contaminated Runways.*
7. IATA (2011). *Preventing Runway Excursions. Landing on wet / Contaminated Runways.*
8. National Aerospace Laboratory (2001). *Safety aspects of tailwind operations.*
9. National Aerospace Laboratory (1999). *Safety Aspects of aircraft operations in crosswind.*
10. National Aerospace Laboratory (2010). *A Study of Runway Excursions from a European Perspective.*
11. FSF ALAR Toolkit (2009). *Briefing Note 8.7 – Crosswind Landings.*
12. FAA Takeoff Safety Training Aid (2014). *Section 2, Pilot Guide to Takeoff Safety.*
13. National Aerospace Laboratory (2010). *Rejecting a Takeoff after V1...Why does it (still) happen?*
14. Airbus Flight Operations Briefing Notes (2005). *Takeoff and departure Operations. Revisiting the “Stop of Go” Decision.*
15. FAA Technical Center (1993). *Soft Ground Arresting Systems for Airports.*
16. FAA Fact Sheet (2014). *Engineered Material Arresting Systems (EMAS).*
17. CAA Safety Regulation Group (2002). *CAP 720 – Flight Crew Training: Cockpit Resource Management (CRM) and Line-Oriented Flight Training (LOFT).*
18. *The Runway Overrun Prevention System* (2009). Núm. 08, Julio 2009. Safety First. The Airbus Safety Magazine.
19. Airbus (2013). “Runway Overrun Prevention System – Focus on end of Runway Excursions”. *European Commercial Aviation Safety Team Meeting.* Marzo 2013.
20. NASA (1968). *Payment Grooving and Traction Studies.*
21. OACI (2008). *Runway Surface Condition Assessment, Measurement and Reporting.*
22. Embraer (2014). “Proper Use of Deceleration Devices”. *Regional Aviation Safety Group – Pan America Seminar.* Octubre 2014.
23. OACI (2013). *Industry best practices manual for timely and accurate reporting of Runway Surface conditions by ATS/AIS to flight crew.* Desarrollado por Airports Authority of India.
24. FAA Advisory Circular (2014). *Mitigating the Risks of a Runway Overrun upon Landing.*

## 6. Anexos

### 6.1 Excursiones de pista 1990-2010

Nº ACCIDENTE	FECHA	FABRICANTE AERONAVE	MODELO AERONAVE	MATRÍCULA	PAÍS	TOTAL FALLECIDOS
1	05/01/1990	Fokker	F-28-4000	LV-MZD	Argentina	0
2	05/01/1990	Lockheed	C-130	D2-THB	Angola	0
3	06/03/1990	Antonov	An-32	FAP-379	Perú	0
4	18/03/1990	Douglas	DC-3	HR-SAZ	Honduras	0
5	22/03/1990	Hawker-Siddeley	HS-121 Trident	B-2208	China	0
6	23/03/1990	Antonov	An-26	CU-T1436	Cuba	4
7	01/04/1990	Fairchild	FH-227	5N-ATL	Nigeria	0
8	05/04/1990	Douglas	DC-8-61	ZP-CCR	Argentina	0
9	07/04/1990	Martin	404	CP-1738	Bolivia	0
10	19/04/1990	Tupolev	Tu-154B	CCCP-85155	Rusia	0
11	22/04/1990	Antonov	An-24RV	RDPL-34008	Laos	1
12	02/05/1990	Grumman	159 Gulfstream IC	HK-3316X	Colombia	0
13	27/05/1990	Airbus	A300-600R	HS-TAG	Filipinas	0
14	09/06/1990	Boeing	B737-200	B-1876	Taiwan	0
15	30/06/1990	Ilyushin	Il-62M	CCCP-86456	Rusia	0
16	22/07/1990	Boeing	B737-200	N210US	USA	0
17	25/07/1990	Boeing	B707-320C	ET-ACQ	Etiopía	0
18	01/08/1990	Hawker-Siddeley	748	V2-LCQ	Dominica	0
19	08/08/1990	Boeing	B737-200	5N-ANY	Nigeria	0
20	12/08/1990	Lockheed	C-130	N911SJ	Sudán del Sur	0
21	09/09/1990	Yakovlev	Yak-40	CCCP-87914	Kazajistán	0
22	11/10/1990	Grumman	159 Gulfstream IC	XB-ESO	Mexico	0
23	20/10/1990	Tupolev	Tu-154B	CCCP-85268	Georgia	0
24	21/11/1990	Ilyushin	Il-62	CCCP-86613	Rusia	0
25	30/11/1990	Yakovlev	Yak-40	CCCP-87934	Rusia	0
26	31/12/1990	Fairchild	SA-227AC Metro III	N385PH	USA	0
27	04/01/1991	Douglas	DC-3	EC-EQH	España	0
28	17/02/1991	LET	410 Turbolet	CCCP-67145	Rusia	0
29	20/02/1991	British Aerospace	146-200	CC-CET	Chile	20

<b>30</b>	09/03/1991	Boeing	B767-200ER	ZK-NBC	Fiyi	0
<b>N°</b>	FECHA	FABRICANTE	MODELO	MATRÍCULA	PAÍS	TOTAL
<b>ACCIDENTE</b>		AERONAVE	AERONAVE			FALLECIDOS
<b>31</b>	12/03/1991	Douglas	DC-8-62C	N730PL	USA	0
<b>32</b>	18/03/1991	Airbus	A300 B4-200	AP-BAZ	Pakistán	0
<b>33</b>	23/03/1991	Antonov	An-24B	CCCP-46472	Uzbekistán	34
<b>34</b>	24/03/1991	Tupolev	Tu-134A	CCCP-65780	Rusia	0
<b>35</b>	14/04/1991	Airbus	A310-220	5N-AUF	Nigeria	0
<b>36</b>	15/04/1991	Fokker	F-28-4000	PK-GKA	Indonesia	0
<b>37</b>	18/05/1991	Boeing	B737-200	HR-SHJ	Honduras	0
<b>38</b>	16/07/1991	Airbus	A300 B4-200	AP-BAX	Pakistán	0
<b>39</b>	24/08/1991	Boeing	B737-200	EP-IRF	Iran	0
<b>40</b>	14/09/1991	Tupolev	Tu-154B	CU-T1227	Mexico	0
<b>41</b>	06/10/1991	Fairchild	SA-227AC Metro III	N120FA	USA	0
<b>42</b>	11/10/1991	Boeing	B737-300	VR-CCW	Islas Caimán	0
<b>43</b>	08/11/1991	Antonov	An-12B	CCCP-11129	Sudán	0
<b>44</b>	07/12/1991	Boeing	B707-320C	5A-DJT	Libia	0
<b>45</b>	17/12/1991	Douglas	DC-9-32	I-RIBN	Polonia	0
<b>46</b>	16/01/1992	Hawker- Siddeley	748	C-FDOX	Canada	0
<b>47</b>	24/01/1992	Tupolev	Tu-134A	CCCP-65053	Georgia	0
<b>48</b>	22/02/1992	Antonov	An-24	OB-1439	Perú	0
<b>49</b>	25/02/1992	CASA	CN-235-100	E-217	Chile (Ant.)	0
<b>50</b>	03/03/1992	Douglas	DC-6BF	N151	USA	0
<b>51</b>	26/03/1992	Yakovlev	Yak-40	87356	Rusia	0
<b>52</b>	21/04/1992	Boeing	B767-300ER	HL7268	Corea del Sur	0
<b>53</b>	23/04/1992	Douglas	DC-8-55CF	N29549	USA	0
<b>54</b>	05/06/1992	Tupolev	Tu-154B	LZ-BTD	Bulgaria	0
<b>55</b>	09/06/1992	Antonov	An-12	CCCP-11105	Ucrania	0
<b>56</b>	10/06/1992	Antonov	An-32B	CCCP-48058	Mozambique	0
<b>57</b>	22/06/1992	Grumman	159 Gulfstream IC	I-MDDD	Italia	0
<b>58</b>	01/07/1992	Saab	340A	VH-EKT	Australia	0
<b>59</b>	20/07/1992	Tupolev	Tu-154B	CCCP-85222	Georgia	28
<b>60</b>	30/07/1992	Lockheed	L-1011	N11002	USA	0
<b>61</b>	26/08/1992	Fokker	F-27-600	D2-TFP	Angola	0
<b>62</b>	29/08/1992	British Aerospace	111	5N-HTA	Nigeria	0
<b>63</b>	29/08/1992	Tupolev	Tu-134A	CCCP-65810	Ucrania	0
<b>64</b>	01/09/1992	CASA	CN-235-100	PK-MNJ	Indonesia	0
<b>65</b>	22/09/1992	Fokker	F-27-600	XY-ADZ	Myanmar	0
<b>66</b>	24/09/1992	Boeing	B737-300	PT-TEJ	Brasil	0

<b>N° ACCIDENTE</b>	<b>FECHA</b>	<b>FABRICANTE AERONAVE</b>	<b>MODELO AERONAVE</b>	<b>MATRÍCULA</b>	<b>PAÍS</b>	<b>TOTAL FALLECIDOS</b>
67	09/10/1992	Antonov	An-32	CCCP-48088	Somalia	1
68	13/10/1992	Tupolev	Tu-154B	CCCP-85528	Rusia	0
69	15/10/1992	Douglas	DC-8-55	HK-3753X	Colombia	0
70	25/10/1992	Fairchild	SA-226AC Metro II	5Y-DNT	Somalia	0
71	12/11/1992	Fairchild	SA-227AC Metro III	N3044J	Bolivia	0
72	20/11/1992	Boeing	B737-200C	LV-JNE	Argentina	0
73	05/12/1992	Tupolev	Tu-154A	CCCP-85105	Armenia	0
74	18/12/1992	Antonov	An-12	12957	Rusia	0
75	03/02/1993	Antonov	An-24B	CCCP-47180	Rusia	0
76	18/02/1993	Douglas	DC-7CF	HI-599CT	República Dominicana	0
77	27/02/1993	Antonov	An-12	RA-11399	Armenia	0
78	11/03/1993	Douglas	DC-9-31	N978Z	USA	0
79	20/03/1993	Boeing	B747-200F	D-ABZA	Alemania	0
80	06/04/1993	Boeing	B767-200	N767TA	Guatemala	0
81	14/04/1993	Douglas	DC-10-30	N139AA	USA	0
82	14/04/1993	Fairchild	SA-226AC Metro II	VH-UZS	Australia	0
83	06/05/1993	Shorts	330-100	VP-LVR	Islas Vírgenes	0
84	12/05/1993	Embraer	EMB-120	PT-SLI	Brasil	0
85	18/05/1993	Douglas	DC-10-30	S2-ACR	Bangladesh	0
86	09/06/1993	Convair	580	N580HH	USA	0
87	10/06/1993	Fokker	F-100	PH-MKH	Países Bajos	0
88	22/06/1993	Antonov	An-24B	CCCP-47708	Rusia	0
89	02/07/1993	Boeing	B747-100	F-BPVF	República Dominicana	0
90	07/07/1993	Dornier	228-200	CP-2176	Bolivia	0
91	19/07/1993	Douglas	DC-9-32	YV-613C	Venezuela	0
92	21/07/1993	Convair	580	C-GQHB	Canada	0
93	23/07/1993	British Aerospace	146-300	B-2716	China	55
94	24/07/1993	Douglas	MD-11	B-2173	China	0
95	27/08/1993	Yakovlev	Yak-40	87995	Tayikistán	82
96	12/09/1993	Boeing	B747-400	F-GITA	Polinesia Francesa	0
97	14/09/1993	Airbus	A320-210	D-AIPN	Polonia	2
98	19/09/1993	Fairchild	SA-227AC Metro III	F-GILN	Francia	0
99	06/10/1993	Fokker	F-27-600	XY-AEP	Myanmar	0
100	09/10/1993	Douglas	DC-4	N811E	USA	0

<b>N° ACCIDENTE</b>	<b>FECHA</b>	<b>FABRICANTE AERONAVE</b>	<b>MODELO AERONAVE</b>	<b>MATRÍCULA</b>	<b>PAÍS</b>	<b>TOTAL FALLECIDOS</b>
101	10/01/1993	Airbus	A320-230	XA-RYS	Mexico	0
102	25/10/1993	Douglas	MD-82	B-28003	Taiwan	0
103	26/10/1993	Douglas	MD-82	B-2103	China	2
104	04/11/1993	Boeing	B747-400	B-165	Hong Kong	0
105	19/11/1993	Boeing	B737-100	HP-873CMP	Panama	0
106	26/11/1993	Douglas	DC-10-30	YV-135C	Argentina	0
107	06/12/1993	Antonov	An-26	RA-26515	Rusia	0
108	08/02/1994	Antonov	An-12B	RA-11340	Rusia	0
109	02/03/1994	Douglas	MD-82	N18835	USA	0
110	15/03/1994	Aerospatiale	SE 210 Caravelle	HK-3855X	Colombia	0
111	27/03/1994	NAMC	YS-11A	JA8776	Japón	0
112	14/05/1994	Boeing	B707-320B	HR-AMV	Pakistán	0
113	28/05/1994	Fokker	F-50	PH-AVH	Colombia	0
114	29/06/1994	British Aerospace	146-100	ZE700	Gran Bretaña	0
115	17/07/1994	Yakovlev	Yak-40	RA-87256	R.D.C.	5
116	20/07/1994	Boeing	B737-300	B-2540	China	0
117	02/08/1994	Boeing	B737-300	EI-BZL	Filipinas	0
118	10/08/1994	Airbus	A300-620R	HL7296	Corea del Sur	0
119	13/08/1994	Fokker	F-27-600	TT-AAK	Chad	0
120	18/08/1994	Douglas	DC-9-31	5N-BBE	Liberia	0
121	20/08/1994	Airbus	A320-230	VT-EPE	India	0
122	27/08/1994	Boeing	B737-400	TC-JEL	Turquía	0
123	30/09/1994	Antonov	An-8	RA-27209	Rusia	8
124	23/10/1994	Antonov	An-72	RA-72960	Rusia	0
125	03/11/1994	Douglas	MD-83	F-GHED	Finlandia	0
126	05/11/1994	Yakovlev	Yak-40	OB-1569	Perú	6
127	30/11/1994	Fokker	F-28-4000	PK-GKU	Indonesia	0
128	06/12/1994	Antonov	An-8	D2-FVA	Angola	0
129	08/12/1994	ATR	ATR-72-200	F-OHOC	Gabón	0
130	09/12/1994	Douglas	DC-9-32	PK-GNP	Indonesia	0
131	22/12/1994	Fokker	F-27-600	CP-2165	Bolivia	0
132	31/12/1994	Ilyushin	Il-76T	EW-76836	Bosna-Herzegovina	0
133	02/01/1995	Boeing	B737-200C	9Q-CNI	R.D.C.	0
134	05/01/1995	Fokker	F-50	LN-BBA	Noruega	0
135	14/01/1995	Yakovlev	Yak-40	RA-87565	Rusia	0
136	16/01/1995	Boeing	B737-200	PK-JHF	Indonesia	0
137	21/01/1995	Tupolev	Tu-154B	UN-85455	Pakistán	0
138	25/01/1995	Yakovlev	Yak-40	RA-87464	Rusia	0
139	26/01/1995	Antonov	An-26B	UN-26080	Guinea	0

140	31/01/1995	Boeing	B727-100F	D2-TJB	Angola	0
141	02/02/1995	Boeing	B737-200	PP-SMV	Brasil	0
142	06/02/1995	Antonov	An-24B	RA-46564	Rusia	0
143	10/02/1995	Boeing	B737-200	D2-TBP	Angola	0
144	26/03/1995	Antonov	An-12	RA-13340	R.D.C.	0
<b>N° ACCIDENTE</b>	<b>FECHA</b>	<b>FABRICANTE AERONAVE</b>	<b>MODELO AERONAVE</b>	<b>MATRÍCULA</b>	<b>PAÍS</b>	<b>TOTAL FALLECIDOS</b>
145	04/04/1995	Antonov	An-26	UR-26049	Rusia	0
146	17/04/1995	Douglas	DC-4	N898AL	USA	0
147	28/04/1995	Douglas	DC-8-54AF	N43UA	Guatemala	6
148	08/05/1995	Fokker	F-27-600	PK-YPL	Indonesia	0
149	09/05/1995	Antonov	An-12	RA-11127	Angola	0
150	31/05/1995	Fokker	F-28-1000	P2-ANB	Papua Nueva Guinea	0
151	24/06/1995	Tupolev	Tu-134A	RA-65617	Nigeria	16
152	17/08/1995	Boeing	B707-320C	YR-ABN	Chad	0
153	23/08/1995	Douglas	MD-82	HL7282	Corea del Sur	0
154	15/09/1995	Fokker	F-50	9M-MGH	Malasia	34
155	12/10/1995	ATR	ATR-72-210	EP-ATA	Iran	0
156	16/10/1995	Douglas	DC-9-32	EC-BIR	España	0
157	18/10/1995	Dornier	228-200	9M-PEQ	Islas Maldivas	0
158	19/10/1995	Douglas	DC-10-30	C-GCPF	Canada	0
159	24/10/1995	ATR	ATR-42-300	F-GHJE	Kenia	0
160	31/10/1995	Ilyushin	Il-76T	RA-76783	Rusia	0
161	13/11/1995	Boeing	B737-200	5N-AUA	Nigeria	11
162	22/11/1995	Antonov	An-12TB	RA-11008	Angola	0
163	02/12/1995	Boeing	B737-200	VT-ECS	India	0
164	12/12/1995	Boeing	B747-200B	B-1888	Filipinas	0
165	20/12/1995	Boeing	B747-100	N605FF	USA	0
166	08/01/1996	Antonov	An-32B	RA-26222	R.D.C.	237
167	28/01/1996	Douglas	DC-8-55CF	Z-WSB	Zimbabue	0
168	02/02/1996	Antonov	An-32	UR-48008	Angola	0
169	05/02/1996	Convair	C-131E	N131T	USA	4
170	25/02/1996	Antonov	An-24	XU-314	Camboya	0
171	10/03/1996	CASA	212 Aviocar	PK-NCU	Indonesia	0
172	22/03/1996	Vickers	Viscount	G-BFZL	Gran Bretaña	0
173	26/03/1996	Tupolev	Tu-154M	EP-ITS	Iran	0
174	25/04/1996	Hawker- Siddeley	748	9N-ABR	Nepal	0
175	01/05/1996	Boeing	B727-200	PP-LBY	Ecuador	0
176	18/05/1996	LET	410 Turbolet	VT-ETB	India	0
177	13/06/1996	Douglas	DC-10-30	PK-GIE	Japón	3
178	30/06/1996	Boeing	B707-320C	5X-JON	Malí	0

<b>N° ACCIDENTE</b>	<b>FECHA</b>	<b>FABRICANTE AERONAVE</b>	<b>MODELO AERONAVE</b>	<b>MATRÍCULA</b>	<b>PAÍS</b>	<b>TOTAL FALLECIDOS</b>
179	11/07/1996	Hawker-Siddeley	748	PK-IHN	Indonesia	0
180	14/07/1996	Boeing	B707-300B	LX-N90457	Grecia	0
181	02/08/1996	Boeing	B737-200	7T-VED	Argelia	0
182	16/08/1996	Hawker-Siddeley	748	G-ATMI	Gran Bretaña	0
183	21/08/1996	Boeing	B707-320C	SU-AVX	Turquía	0
<b>N° ACCIDENTE</b>	<b>FECHA</b>	<b>FABRICANTE AERONAVE</b>	<b>MODELO AERONAVE</b>	<b>MATRÍCULA</b>	<b>PAÍS</b>	<b>TOTAL FALLECIDOS</b>
184	06/10/1996	Antonov	An-12B	RA-11101	Angola	7
185	11/10/1996	Fairchild	SA-226AC Metro II	CP-1516	Brasil	0
186	23/10/1996	Fairchild	SA-226AC Metro II	C-GKFS	Canada	0
187	06/11/1996	Douglas	MD-11	N271WA	Argentina	0
188	16/11/1996	Tupolev	Tu-134B	VN-A114	Vietnam	0
189	22/11/1996	Antonov	An-32A	RA-48104	Rusia	0
190	02/12/1996	LET	410 Turbolet	RA-67436	Rusia	0
191	03/12/1996	Boeing	B737-300	5W-ILF	Samoa Occidental	0
192	10/12/1996	Antonov	An-74-200	RA-74037	Rusia	0
193	12/12/1996	Douglas	MD-87	EC-FHD	España	0
194	19/12/1996	Airbus	A320-230	F-OHMK	Mexico	0
195	24/12/1996	Embraer	EMB-120	PT-OGJ	Brasil	0
196	07/01/1997	ATR	ATR-42	N14829	USA	0
197	10/01/1997	Airbus	A300 B4-200	TU-TAT	Arabia Saudita	0
198	11/01/1997	Fairchild	SA-227AC Metro III	EC-GKK	Tunez	0
199	29/01/1997	Boeing	B747-200BM	B-2448	USA	0
200	04/02/1997	Fairchild	SA-226AC Metro II	XA-HAO	Mexico	0
201	19/02/1997	Yakovlev	Yak-40	UN-87233	Kazajistán	0
202	21/02/1997	Antonov	An-32B	CR865	Sri Lanka	4
203	05/03/1997	Douglas	MD-82	N275AA	USA	0
204	10/03/1997	Airbus	A320-210	A4O-EM	Emiratos Arabes	0
205	14/03/1997	Boeing	B727-200F	C-GKFH	Canada	0
206	20/03/1997	Boeing	B747-200B	PK-GSA	Taiwan	0
207	01/04/1997	Convair	580	9Q-CRU	R.D.C.	0
208	01/04/1997	Lockheed	C-130H	88-4408	Honduras	3
209	04/04/1997	AviationTraders	ATL-98 Carvair	N83FA	USA	2
210	11/04/1997	Boeing	B737-200	PK-JHI	Indonesia	0
211	12/04/1997	Douglas	DC-9-51	9G-ACM	Costa de Marfil	0
212	13/04/1997	Antonov	An-12B	RA-11122	Rusia	0

213	07/06/1997	British Aerospace	111	YR-BCM	Suecia	0
214	02/07/1997	British Aerospace	ATP	S2-ACX	Bangladesh	0
215	11/07/1997	Airbus	A340-300	CS-TOD	R.D.C.	0
216	17/07/1997	Boeing	B737-300	PP-VPC	Brasil	0
217	20/07/1997	Douglas	MD-82	B-2136	China	0
218	30/07/1997	ATR	ATR-42-500	F-GPYE	Italia	1
N° ACCIDENTE	FECHA	FABRICANTE AERONAVE	MODELO AERONAVE	MATRÍCULA	PAÍS	TOTAL FALLECIDOS
219	31/07/1997	Airbus	A300-600	HL7281	Corea del Sur	0
220	03/08/1997	Boeing	B737-200C	TU-TAV	Camerún	0
221	12/08/1997	Boeing	B727-200	SX-CBI	Grecia	0
222	21/08/1997	Antonov	An-32	-	Afganistán	13
223	15/10/1997	Lockheed	C-130GH	1213	USA	0
224	21/10/1997	Boeing	B737-300	AP-BCE	Pakistán	0
225	28/10/1997	Fairchild	FH-227D	HC-BUF	Ecuador	0
226	06/11/1997	Hawker- Siddeley	748	9N-ACM	Nepal	0
227	08/11/1997	Antonov	An-12	RA-11327	Rusia	0
228	18/11/1997	Douglas	DC-8-54AF	EL-WVD	Tanzania	0
229	01/12/1997	Fairchild	SA-227AC Metro III	XA-SBD	USA	0
230	07/12/1997	Fokker	F-27-500	G-BNCY	Gran Bretaña	0
231	16/12/1997	Canadair	CRJ 100	C-FSKI	Canada	0
232	17/12/1997	Ilyushin	Il-18DF	RA-75554	Sudafrica	0
233	02/01/1998	Douglas	DC-6B	N861TA	USA	0
234	11/01/1998	British Aerospace	146	TC-THF	Turquía	0
235	27/01/1998	Fokker	F-27-600	XY-AES	Myanmar	16
236	09/02/1998	Hawker- Siddeley	748	FAB-2509	Brasil	0
237	12/02/1998	Antonov	An-32B	7744	Sudán	27
238	13/02/1998	Junkers	Ju-52-3M	HB-HOS	Suiza	0
239	19/02/1998	Grumman	159	5Y-BMR	Somalia	0
240	26/02/1998	Fokker	100	N867US	USA	0
241	22/03/1998	Airbus	A320-210	RP-C3222	Filipinas	3
242	31/03/1998	Hawker- Siddeley	748	G-OJEM	Gran Bretaña	0
243	12/04/1998	Boeing	B737-200	P4-NEN	Kazajistán	0
244	23/04/1998	Shorts	330-200	TR-LEM	Gabón	0
245	15/05/1998	Fokker	F-28-4000	PK-MGT	Indonesia	0
246	16/05/1998	Fokker	F-28-4000	PK-VFY	Singapur	0

247	21/05/1998	Airbus	A320-210	G-UKLL	España	0
248	21/05/1998	Boeing	B737-400	TC-AZA	Turquía	0
249	29/05/1998	Boeing	B737-500	VT-JAL	India	0
250	19/07/1998	Boeing	B737-200	ST-AFL	Sudán	0
251	23/07/1998	Antonov	An-12	RA-11886	Rusia	0
252	05/08/1998	Boeing	B747-400	HL7496	Corea del Sur	0
253	06/08/1998	Hawker-Siddeley	748	C-GTAD	Canada	0
254	09/08/1998	Dornier	228-200	B-11156	Taiwan	0
255	11/08/1998	Antonov	An-12	D2-FAZ	Angola	1
<b>N° ACCIDENTE</b>	<b>FECHA</b>	<b>FABRICANTE AERONAVE</b>	<b>MODELO AERONAVE</b>	<b>MATRÍCULA</b>	<b>PAÍS</b>	<b>TOTAL FALLECIDOS</b>
256	11/08/1998	Jetstream	41	41094	Tailandia	0
257	12/08/1998	Fairchild	SA-227AC Metro III	LV-WRA	Argentina	0
258	14/08/1998	Yakovlev	Yak-40	EX-87529	Kirguistán	0
259	19/08/1998	Antonov	An-12BP	UR-11528	Indonesia	0
260	24/08/1998	Antonov	An-32B	HK-4007X	Colombia	0
261	29/08/1998	Tupolev	Tu-154M	CU-T1264	Ecuador	80
262	05/09/1998	Yakovlev	Yak-40K	RA-87956	Guinea Ecuatorial	0
263	11/09/1998	Boeing	B767-300ERF	N316UP	USA	0
264	12/09/1998	Boeing	B767-300ER	S7-RGW	Vietnam	0
265	14/09/1998	Antonov	An-32B	4K-66759	Kenia	0
266	16/09/1998	Boeing	B737-500	N20643	Mexico	0
267	22/09/1998	Fokker	F-28-3000	FAC1141	Colombia	0
268	30/09/1998	Douglas	MD-82	HL7236	Corea del Sur	0
269	01/11/1998	Boeing	B737-200	EI-CJW	USA	0
270	14/11/1998	Boeing	B707-320C	5N-VRG	Bélgica	0
271	26/11/1998	ATR	ATR-42-500	XA-TAH	Mexico	0
272	03/12/1998	Hawker-Siddeley	748	C-FBNW	Canada	0
273	17/12/1998	Antonov	An-124	RA-82046	Canada	0
274	18/12/1998	CASA	212-200	N502FS	USA	0
275	02/01/1999	Dornier	228-200	RP-C1008	Filipinas	0
276	07/01/1999	Douglas	DC-3A	YV-822C	Venezuela	0
277	20/01/1999	Antonov	An-12	S9-CAN	Angola	0
278	31/01/1999	Boeing	B727-200	7T-VEH	Argelia	0
279	04/02/1999	Antonov	An-26	EL-ANZ	Angola	2
280	07/02/1999	Boeing	B707-320F	9G-ROX	Eslovaquia	0
281	10/02/1999	Boeing	B737-200	PK-IJH	Indonesia	0
282	14/02/1999	Hawker-Siddeley	748	9L-LBG	Sudán del Sur	0

283	25/02/1999	Dornier	328-100	D-CPRR	Italia	4
284	04/03/1999	Boeing	B737-200	F-GBYA	Francia	0
285	15/03/1999	Douglas	MD-83	HL7570	Corea del Sur	0
286	20/03/1999	Airbus	A321-230	SU-GBT	Egipto	0
287	20/03/1999	Yakovlev	Yak-40	RA-87587	Guinea Ecuatorial	0
288	24/03/1999	Airbus	A300-620C	A6-PFD	Grecia	0
289	05/04/1999	Boeing	B737-200	PK-RIL	Indonesia	0
290	01/05/1999	de HavillandCanada	DHC-5	KAF207	Kenia	1
291	03/05/1999	de HavillandCanada	DHC-5	KAF214	Kenia	0
<b>N° ACCIDENTE</b>	<b>FECHA</b>	<b>FABRICANTE AERONAVE</b>	<b>MODELO AERONAVE</b>	<b>MATRÍCULA</b>	<b>PAÍS</b>	<b>TOTAL FALLECIDOS</b>
292	10/05/1999	Boeing	B737-200	B-12001	Mexico	0
293	19/05/1999	Yakovlev	Yak-40	TL-ACO	República Centroafricana	0
294	01/06/1999	Douglas	MD-82	N215AA	USA	11
295	11/06/1999	Lockheed	C-130K	XV298	Albania	0
296	28/06/1999	Airbus	A310-220F	N420FE	Filipinas	0
297	04/07/1999	Douglas	DC-6A	HK-1776	Colombia	5
298	01/08/1999	Fokker	F-28-1000	C-GTIZ	Canada	0
299	08/08/1999	Douglas	MD-11	B-2175	China	0
300	13/08/1999	Fokker	F-28-1000	XY-ADU	Myanmar	0
301	14/08/1999	Boeing	B707-320C	ST-ANP	Sudán	0
302	31/08/1999	Boeing	B737-200C	LV-WRZ	Argentina	65
303	02/09/1999	Boeing	B747SP	B-18253	Taiwan	0
304	13/09/1999	Airbus	A320-210	EC-GRF	España	0
305	14/09/1999	Boeing	B757-200	G-BYAG	España	1
306	21/09/1999	Fairchild	SA-227AC Metro III	LV-WTE	Argentina	0
307	23/09/1999	Boeing	B747-400	VH-OJH	Tailandia	0
308	16/10/1999	Douglas	DC-8-62CF	9G-REM	R.D.C.	0
309	17/10/1999	Douglas	MD-11F	N581FE	Filipinas	0
310	19/11/1999	Boeing	B737-300	F-GRFA	Francia	0
311	22/11/1999	Fairchild	SA-227AC Metro III	C-FFZN	Canada	0
312	21/12/1999	Douglas	DC-10-30	F-GTDI	Guatemala	18
313	28/12/1999	Lockheed	C-130	S9-BOP	Angola	0
314	14/01/2000	Lockheed	C-130B	TAM60	Bolivia	5
315	02/02/2000	Lockheed	C-130H	-	Iran	8
316	16/02/2000	NAMC	YS-11A	JA8727	Japón	0
317	22/02/2000	Boeing	B767-300ER	SU-GAO	Zimbabue	0

318	27/02/2000	Boeing	B737-400	PT-TEO	Brasil	0
319	01/03/2000	Airbus	A320-230	ZS-SHD	Zambia	0
320	05/03/2000	Boeing	B737-300	N668SW	USA	0
321	21/03/2000	Saab	340B	N353SB	USA	0
322	25/03/2000	Antonov	An-32	D2-MAJ	Angola	3
323	22/04/2000	British Aerospace	146	TC-THL	Turquía	0
324	30/04/2000	Douglas	DC-10-30F	N800WR	Uganda	0
325	15/05/2000	Fairchild	SA-226TC Metro II	HP-1364MAM	Panama	0
326	19/05/2000	Fairchild	SA-226TC Metro II	LV-YIC	Argentina	0
327	07/06/2000	Antonov	An-32	UR-48054	Sudán	0
328	14/06/2000	Douglas	DC-9-32	XA-DEI	Mexico	0
<b>N° ACCIDENTE</b>	<b>FECHA</b>	<b>FABRICANTE AERONAVE</b>	<b>MODELO AERONAVE</b>	<b>MATRÍCULA</b>	<b>PAÍS</b>	<b>TOTAL FALLECIDOS</b>
329	20/06/2000	Ilyushin	Il-76M	RA-76723	Rusia	0
330	26/06/2000	Boeing	B737-200	7O-ACQ	Sudán	0
331	01/07/2000	Fokker	F-27-500	G-JEAP	Gran Bretaña	0
332	19/07/2000	Grumman	159	XC-AA53	Mexico	0
333	15/08/2000	Antonov	An-12BP	LZ-ITC	R.D.C.	0
334	27/09/2000	Convair	580	C-GFHH	Canada	0
335	28/09/2000	Curtiss	C-46A	C-GTXW	Canada	0
336	06/10/2000	Douglas	DC-9-31	N936ML	Mexico	4
337	05/11/2000	Antonov	An-24RV	RA-46499	Rusia	0
338	05/11/2000	Boeing	B747-200	TJ-CAB	Francia	0
339	07/11/2000	Antonov	An-32B	ER-AFA	R.D.C.	1
340	09/11/2000	Douglas	DC-3 (T)	FAS-119	El Salvador	0
341	16/12/2000	CASA	212-300	LDF-48	Lesoto	0
342	23/12/2000	Douglas	DC-10-10	N132AA	Polinesia Francesa	0
343	29/12/2000	Jetstream	41	N323UE	USA	0
344	31/12/2000	Tupolev	Tu-154	EP-MBF	Iran	0
345	17/03/2001	Airbus	A320-210	N357NW	USA	0
346	22/03/2001	Airbus	A320-210	TS-IMM	Tunez	0
347	04/04/2001	Boeing	B737-200	C-GDCC	Canada	0
348	18/04/2001	Ilyushin	Il-76M	UR-78821	Bélgica	0
349	17/05/2001	Airbus	A300-620R	HS-TAX	Tailandia	0
350	10/06/2001	Embraer	ERJ-145LR	B-3040	China	0
351	15/06/2001	Transall	C-160	PK-VTP	Indonesia	1
352	22/06/2001	Antonov	An-32	ER-AET	R.D.C.	0
353	17/07/2001	Fokker	F-28	HC- BMD/FAE220	Ecuador	0

354	24/07/2001	Vickers	800 Viscount	3D-OHM	Chad	0
355	01/08/2001	Boeing	B727-200	7O-ACW	Eritrea	0
356	19/08/2001	Boeing	B737-700	D-AHIA	Turquía	0
357	28/08/2001	British Aerospace	111	5N-BDC	Gabón	0
358	07/09/2001	Boeing	B707-320C	TN-AGO	R.D.C.	0
359	21/10/2001	Yakovlev	Yak-40	EX-87470	Kirguistán	0
360	01/11/2001	Boeing	B737-300	5Y-KQD	Kenia	0
361	27/11/2001	Fairchild	SA-226TC Metro II	LV-WSD	Argentina	0
362	28/11/2001	ATR	ATR-42-500	XA-TAI	Mexico	0
363	02/12/2001	Dornier	328-100	D-CATS	Alemania	0
364	11/12/2001	Antonov	An-32	D2-FEO	Angola	0
365	14/01/2002	Boeing	B737-200	PK-LID	Indonesia	0
366	18/01/2002	CASA	212-300	FAC1157	Colombia	0
367	22/01/2002	Fokker	F-27-400	FAB-94	Bolivia	0
<b>N° ACCIDENTE</b>	<b>FECHA</b>	<b>FABRICANTE AERONAVE</b>	<b>MODELO AERONAVE</b>	<b>MATRÍCULA</b>	<b>PAÍS</b>	<b>TOTAL FALLECIDOS</b>
368	28/02/2002	Douglas	DC-8-62CF	N1808E	Singapur	0
369	04/03/2002	Fairchild	SA-227AC Metro III	C-FITW	Canada	0
370	19/04/2002	Antonov	An-32A	HK-4171X	Colombia	3
371	26/04/2002	Boeing	B707-320C	9Q-CKB	R.D.C.	0
372	11/06/2002	Fokker	F-27-600	ST-SSD	Sudán	0
373	14/06/2002	Douglas	DC-9-14	HK-3859X	Colombia	0
374	16/08/2002	Boeing	B737-300	B-2521	China	0
375	28/08/2002	Airbus	A320-230	N635AW	USA	0
376	15/09/2002	Ilyushin	Il-18	EX-904	Angola	0
377	29/09/2002	Fairchild	SA-227AC Metro III	N343AE	USA	0
378	23/10/2002	Ilyushin	Il-62M	RA-86452	Kirguistán	0
379	31/10/2002	Douglas	DC-9-32	XA-AMF	Mexico	0
380	02/11/2002	Fokker	F-27-500	G-ECAT	Irlanda	0
381	07/11/2002	Antonov	An-12	4K-AZ21	Chad	0
382	22/11/2002	Fairchild	SA-227AC Metro III	N227FA	USA	0
383	13/12/2002	Douglas	DC-8-62CF	N1804	Singapur	0
384	06/01/2003	de HavillandCanada	Dash 8-100	LN-WIN	Noruega	0
385	06/01/2003	Embraer	ERJ-145LR	N16571	USA	0
386	17/01/2003	Fokker	F-50	PH-FZE	España	0
387	17/01/2003	Fokker	F-28-4000	HC- BMD/FAE220	Ecuador	0

388	23/01/2003	Boeing	B737-200	PK-ALV	Indonesia	0
389	24/01/2003	Grumman	159 Gulfstream I	5Y-EMJ	Kenia	3
390	15/02/2003	Boeing	B747-200F	N485EV	Italia	0
391	21/03/2003	Boeing	B737-400	CN-RMX	Marruecos	0
392	30/03/2003	Boeing	B767-300ER	EI-CXO	Cuba	0
393	09/04/2003	Yakovlev	Yak-40	UK-87367	Uzbekistán	0
394	28/04/2003	Yakovlev	Yak-40	UR-87918	Ucrania	0
395	30/04/2003	Douglas	DC-3 (T)	PNC-0212	Colombia	0
396	11/05/2003	Antonov	An-12	ER-AXD	Eritrea	0
397	24/05/2003	Boeing	B737-300	N343SW	USA	0
398	27/05/2003	Antonov	An-12	9L-LCR	R.D.C.	0
399	14/06/2003	Antonov	An-24RV	CU-T1295	Cuba	0
400	16/06/2003	Fokker	F-50	ST-ARA	Sudán	0
401	17/06/2003	Douglas	MD-88	TC-ONP	Países Bajos	0
402	24/06/2003	Tupolev	Tu-134	RA-65929	Rusia	0
403	06/07/2003	Douglas	DC-10-30CF	OB-1749	Brasil	0
404	11/07/2003	Boeing	B707-320C	5X-AMW	Bangladesh	0
<b>N° ACCIDENTE</b>	<b>FECHA</b>	<b>FABRICANTE AERONAVE</b>	<b>MODELO AERONAVE</b>	<b>MATRÍCULA</b>	<b>PAÍS</b>	<b>TOTAL FALLECIDOS</b>
405	13/08/2003	LET	410 Turbolet	9XR-JT	Sudán	0
406	14/09/2003	LET	410 Turbolet	9XR-AL	Sudán	0
407	24/09/2003	Antonov	An-12	ST-SAR	Sudán	0
408	24/09/2003	Embraer	RJ145LU	LX-LGZ	Luxemburgo	0
409	01/10/2003	Boeing	B747-200F	4X-ICM	Bélgica	0
410	20/10/2003	Fokker	F-27-600	PT-TVA	Brasil	0
411	01/11/2003	Airbus	A321-230	SU-GBU	Rusia	0
412	01/11/2003	Fairchild	SA-227AC Metro III	N787KL	USA	0
413	06/11/2003	Airbus	A320-230	PT-MZL	Brasil	0
414	25/11/2003	ATR	ATR-72-500	VT-JCH	India	0
415	29/11/2003	Antonov	An-26	9T-TAD	R.D.C.	33
416	07/12/2003	Fokker	F-28-4000	5Y-NNN	Kenia	0
417	19/12/2003	Boeing	B737-300	TR-LFZ	Gabón	0
418	20/12/2003	Boeing	B737-700	PR-GOO	Brasil	0
419	27/01/2004	Ilyushin	Il-18	ER-ICJ	Angola	0
420	15/03/2004	Douglas	DC-3 (T)	580	Guatemala	0
421	09/04/2004	Airbus	A340-300	A6-ERN	Sudafrica	0
422	27/04/2004	Boeing	B737-500	UR-VVB	Rusia	0
423	28/04/2004	Douglas	DC-10-30F	N189AX	Colombia	0
424	29/04/2004	Boeing	B737-800	TC-JGD	Turquía	0
425	07/06/2004	Antonov	An-26	ST-ARO	Sudán	0
426	16/06/2004	Fokker	F-27-600	AP-AUR	Pakistán	0

427	17/06/2004	Airbus	A300 B4-200F	SU-BDG	Sudán	0
428	26/06/2004	Antonov	An-12	ST-SAT	Sudán	1
429	23/07/2004	Douglas	DC-3 (T)	FAS-117	El Salvador	0
430	05/08/2004	CASA	212-200	ARBV-0206	Venezuela	0
431	11/08/2004	Boeing	B737-200	3X-GCM	Sierra Leona	0
432	25/08/2004	Fokker	F-50	ET-AKU	Etiopía	0
433	26/08/2004	Embraer	EMB-120	3D-BIN	Mozambique	0
434	28/08/2004	Aerospatiale	SE 210 Caravelle	3D-KIK	Ruanda	0
435	05/09/2004	Antonov	An-12	UR-11765	Ucrania	0
436	17/09/2004	Lockheed	C-130	16803	Afganistán	0
437	08/10/2004	Fokker	F-28-4000	S2-ACH	Bangladesh	0
438	14/10/2004	Boeing	B747-200F	9G-MKJ	Canada	7
439	18/10/2004	Airbus	A320-230	B-22310	Taiwan	0
440	07/11/2004	Boeing	B737-300	9M-AAP	Malasia	0
441	07/11/2004	Boeing	B747-200F	TF-ARR	Emiratos Arabes	0
442	15/11/2004	Yakovlev	Yak-40	YV-1100CP	Venezuela	0
443	28/11/2004	Boeing	B737-400	PH-BTC	España	0
<b>N°</b>	<b>FECHA</b>	<b>FABRICANTE</b>	<b>MODELO</b>	<b>MATRÍCULA</b>	<b>PAÍS</b>	<b>TOTAL</b>
<b>ACCIDENTE</b>		<b>AERONAVE</b>	<b>AERONAVE</b>			<b>FALLECIDOS</b>
444	30/11/2004	Douglas	MD-82	PK-LMN	Indonesia	25
445	04/12/2004	Convair	580	N161FL	USA	0
446	16/12/2004	Shorts	360-300	N748CC	Canada	0
447	22/12/2004	ATR	ATR-72-200	D-ANFF	Alemania	0
448	24/01/2005	Boeing	B747-200F	N808MC	Alemania	0
449	25/01/2005	Fokker	100	YU-AOM	Montenegro	0
450	15/02/2005	Hawker-Siddeley	748	9XR-AB	Sudán	0
451	25/02/2005	Boeing	B727-200	YK-AGA	Kuwait	0
452	03/03/2005	Antonov	An-24B	EY-46399	Congo	0
453	07/03/2005	Airbus	A310-300	F-OJHH	Iran	0
454	11/03/2005	Canadair	CRJ 440	N8932C	USA	0
455	28/03/2005	Ilyushin	Il-18	CU-T1539	Venezuela	0
456	31/03/2005	Antonov	An-12	UN-11007	Yemen	0
457	14/04/2005	Boeing	B737-200	PK-MBQ	Indonesia	0
458	20/04/2005	Boeing	B707-320C	EP-SHE	Iran	3
459	01/06/2005	Airbus	A320-210	EK-32009	Rusia	0
460	02/06/2005	Antonov	An-24B	ST-WAL	Sudán	7
461	01/07/2005	Douglas	DC-10-30	S2-ADN	Bangladesh	0
462	05/07/2005	Airbus	A320-210	S7-ASH	Camboya	0
463	12/07/2005	Boeing	B737-700	6V-AHN	Guinea	0
464	02/08/2005	Airbus	A340-300	F-GLZQ	Canada	0
465	12/08/2005	Antonov	An-140	EP-SFD	Iran	0
466	19/09/2005	Fairchild	SA-227AC Metro III	PH-DYM	Paises Bajos	0

467	09/10/2005	Boeing	B737-400	VT-SID	India	0
468	31/10/2005	Boeing	B727-100F	9Q-CPJ	R.D.C.	0
469	01/11/2005	Shorts	360-300	5N-BFT	Nigeria	0
470	13/11/2005	Dornier	328 Jet	B-3973	China	0
471	14/11/2005	British Aerospace	146-200	RP-C2995	Filipinas	0
472	30/11/2005	CASA / IPTN	212-100	PK-ZAI	Indonesia	0
473	07/12/2005	Douglas	DC-9-32	9Q-CWF	R.D.C.	0
474	08/12/2005	Boeing	B737-700	N471WN	USA	1
475	24/12/2005	Antonov	An-28	ER-AJE	Sudán	2
476	05/01/2006	Douglas	DC-54G	C-GXKN	Canada	0
477	26/01/2006	LET	410 Turbolet	5Y-TTT	Sudán	0
478	11/02/2006	Antonov	An-26	7799	Sudán	20
479	04/03/2006	Douglas	MD-82	PK-LMW	Indonesia	0
480	17/03/2006	Hawker- Siddeley	748	5Y-TCA	Sudán	0
481	29/03/2006	Ilyushin	Il-62M	5A-DKR	Rusia	0
<b>N° ACCIDENTE</b>	<b>FECHA</b>	<b>FABRICANTE AERONAVE</b>	<b>MODELO AERONAVE</b>	<b>MATRÍCULA</b>	<b>PAÍS</b>	<b>TOTAL FALLECIDOS</b>
482	16/04/2006	Fokker	F-27-400	FAB-91	Bolivia	1
483	24/04/2006	Antonov	An-32B	ZS-PDV	Afganistán	5
484	03/06/2006	Dornier	328 Jet	N328PD	USA	0
485	04/06/2006	Douglas	DC-10-10F	N68047	Nicaragua	0
486	05/06/2006	CASA	212 Aviocar	PK-NCL	Indonesia	0
487	07/06/2006	Boeing	B747-200F	N922FT	Colombia	0
488	11/06/2006	Lockheed	C-130H	TT-PAF	Chad	5
489	23/06/2006	Douglas	MD-83	SU-BOZ	Sudán	0
490	28/06/2006	Lockheed	C-130H	1710	USA	0
491	09/07/2006	Airbus	A310-320	F-OGYP	Rusia	125
492	10/07/2006	Tupolev	Tu-134A	05 RED	Ucrania	0
493	15/08/2006	Tupolev	Tu-154B	P-561	Corea del Norte	0
494	27/08/2006	Canadair	CRJ 100	N431CA	USA	49
495	01/09/2006	Tupolev	Tu-154M	EP-MCF	Iran	28
496	07/09/2006	Boeing	B727-200F	ZS-DPF	Nigeria	0
497	02/10/2006	Nord	262 Fregate	9Q-CBA	R.D.C.	0
498	03/10/2006	Boeing	B737-200	PK-RIE	Indonesia	0
499	10/10/2006	British Aerospace	146-200	OY-CRG	Noruega	4
500	08/11/2006	Fairchild	SA-226TC Metro II	C-FTNV	Canada	0
501	10/11/2006	Beriev	BE200	RF-32765	Indonesia	0
502	10/11/2006	Boeing	B717-200	N956AT	USA	0
503	17/11/2006	Douglas	DC-10-30AF	N305FE	Colombia	0

504	12/12/2006	Dornier	328-100	FAC1165	Colombia	0
505	12/12/2006	Fokker	F-50	ST-ASJ	Sudán	0
506	12/12/2006	Fokker	F-27-300	5Y-BRN	Comoras	0
507	29/12/2006	Douglas	DC-4	C-GPSH	Canada	0
508	15/02/2007	Airbus	A320-210	RP-C3223	Filipinas	0
509	18/02/2007	Embraer	170 SE	N862RW	USA	0
510	07/03/2007	Boeing	B737-400	PK-GZC	Indonesia	21
511	23/03/2007	Airbus	A300 B4-200	YA-BAD	Turquía	0
512	25/03/2007	Fairchild	SA-226TC Metro II	C-FUZY	Canada	0
513	09/04/2007	Airbus	A321-110	I-BIXK	Italia	0
514	09/04/2007	LET	410 Turbolet	D6-CAK	Comoras	0
515	12/04/2007	Canadair	CRJ 200LR	N8905F	USA	0
516	30/04/2007	Boeing	B737-500	CN-RNB	Malí	0
517	03/07/2007	Boeing	B737-800	VT-SIJ	Indonesia	0
518	06/07/2007	Boeing	B737-800	VT-AXC	Indonesia	0
519	08/07/2007	ATR	ATR-72-210	5H-PAR	Kenia	0
520	16/07/2007	ATR	ATR-42-300	PT-MFK	Brasil	0
<b>N°</b>	<b>FECHA</b>	<b>FABRICANTE</b>	<b>MODELO</b>	<b>MATRÍCULA</b>	<b>PAÍS</b>	<b>TOTAL</b>
<b>ACCIDENTE</b>		<b>AERONAVE</b>	<b>AERONAVE</b>			<b>FALLECIDOS</b>
521	17/07/2007	Airbus	A320-230	PR-MBK	Brasil	199
522	17/07/2007	Embraer	190 LR	HK-4455	Colombia	0
523	10/08/2007	Tupolev	Tu-134A	RA-65573	Rusia	0
524	12/08/2007	de HavillandCanada	Dash 8-400	HL5256	Corea del Sur	0
525	19/08/2007	Airbus	A310-320	F-OHPS	Yemen	0
526	21/08/2007	Antonov	An-26B	HK-4389	Colombia	0
527	29/08/2007	Fokker	F-28-4000	XY-AGA	Myanmar	0
528	07/09/2007	Antonov	An-12	4L-SAS	R.D.C.	8
529	24/09/2007	LET	410 Turbolet	9Q-CVL	R.D.C.	1
530	11/10/2007	Douglas	MD-83	SU-BOY	Turquía	0
531	26/10/2007	Airbus	A320-210	RP-C3224	Filipinas	0
532	08/11/2007	Antonov	An-12	ST-JUA	Sudán	2
533	25/12/2007	Fairchild	SA-227AC Metro III	CP-2485	Bolivia	0
534	03/01/2008	Boeing	B737-400	CN-RMX	Francia	0
535	15/01/2008	Airbus	A300-600RC	TF-ELW	Francia	0
536	25/01/2008	Antonov	An-12	EK-11660	Cabo Verde	0
537	28/01/2008	Antonov	An-124	RA-82040	Rusia	0
538	28/01/2008	de HavillandCanada	Dash 8-200	HK-3997	Colombia	0
539	03/02/2008	Antonov	An-12	S9-DBP	R.D.C.	0
540	07/02/2008	CASA	212 Aviocar	FAC1258	Colombia	0

541	19/02/2008	ATR	ATR-72-210	XY-AIE	Myanmar	0
542	25/02/2008	Airbus	A320-230	N442UA	USA	0
543	12/03/2008	Boeing	B737-400	UR-GAP	Turquía	0
544	13/03/2008	Airbus	A340-200	ZS-SLF	Brasil	0
545	19/03/2008	Dornier	328-100	D-CTOB	Alemania	0
546	21/03/2008	Antonov	An-12	22 BLUE	Rusia	0
547	15/04/2008	Douglas	DC-9-51	9Q-CHN	R.D.C.	48
548	16/04/2008	Antonov	An-32	3C-5GE	Guinea Ecuatorial	11
549	22/04/2008	British Aerospace	146-200	YR-BEB	Rumania	0
550	29/04/2008	Fokker	F-50	5Y-VVF	Kenia	0
551	16/05/2008	Boeing	B727-200F	N319NE	Micronesia	0
552	25/05/2008	Boeing	B747-200F	N704CK	Bélgica	0
553	26/05/2008	Antonov	An-32B	9Q-CMG	R.D.C.	0
554	30/05/2008	Airbus	A320-230	EI-TAF	Honduras	5
555	10/06/2008	Airbus	A310-320	ST-ATN	Sudán	30
556	18/06/2008	Boeing	B737-200	ZS-OKD	Sudafrica	0
557	10/07/2008	LET	410 Turbolet	5Y-VVB	Kenia	0
558	14/07/2008	Boeing	B737-200	5N-BIG	Nigeria	0
<b>N° ACCIDENTE</b>	<b>FECHA</b>	<b>FABRICANTE AERONAVE</b>	<b>MODELO AERONAVE</b>	<b>MATRÍCULA</b>	<b>PAÍS</b>	<b>TOTAL FALLECIDOS</b>
559	18/07/2008	Airbus	A320-230	F-OHME	USA	0
560	04/08/2008	Lockheed	C-130	1212	Afganistán	0
561	27/08/2008	Boeing	B737-200	PK-CJG	Indonesia	0
562	10/09/2008	Antonov	An-12B	RA-11652	Rusia	0
563	22/09/2008	Fokker	F-28-4000	HC-CDT	Ecuador	0
564	25/09/2008	Ilyushin	Il-22	D2-FFR	Angola	0
565	16/10/2008	Boeing	B737-200	YV162T	Venezuela	0
566	20/12/2008	Boeing	B737-500	N18611	USA	0
567	23/12/2008	Boeing	C-17A	89-1191	Afganistán	0
568	02/01/2009	Antonov	An-12BP	S9-SAM	Emiratos Arabes	0
569	23/01/2009	Antonov	An-24RV	RA-46693	Rusia	0
570	04/02/2009	Douglas	DC-3 (T)	N834TP	USA	0
571	09/02/2009	Airbus	A321-210	F-GYAJ	Francia	0
572	16/02/2009	Boeing	B737-400	TC-SGD	Argelia	0
573	09/03/2009	Douglas	MD-90-30	PK-LIL	Indonesia	0
574	26/03/2009	Tupolev	Tu-134	RA-65981	Rusia	0
575	16/04/2009	Boeing	B747-400	B-2440	Corea del Sur	0
576	08/05/2009	Douglas	MD-90-30	HZ-APW	Arabia Saudita	0
577	30/05/2009	ATR	ATR-42-500	AP-BHO	Pakistán	0
578	14/06/2009	Dornier	328-100	PK-TXN	Indonesia	0
579	25/06/2009	Xian	MA60	RP-C8892	Filipinas	0

580	26/06/2009	LET	410 Turbolet	HK-4094	Colombia	0
581	24/07/2009	Ilyushin	Il-62M	UP-I6208	Iran	16
582	04/08/2009	ATR	ATR-500	HS-PGL	Tailandia	1
583	27/08/2009	Ilyushin	Il-76TD	T-906	Angola	0
584	18/09/2009	CASA	212 Aviocar	N349TA	USA	0
585	10/11/2009	ATR	ATR-72-500	VT-KAC	India	0
586	19/11/2009	Douglas	MD-82	9Q-CAB	R.D.C.	0
587	28/11/2009	Douglas	MD-11F	Z-BAV	China	3
588	01/12/2009	Fairchild	SA-227AC Metro III	CP-2602	Bolivia	0
589	07/12/2009	Embraer	ERJ-135LR	ZS-SJW	Sudafrica	0
590	19/12/2009	Hawker- Siddeley	748	5Y-YKM	Sudán	1
591	22/12/2009	Boeing	B737-800	N977AN	Jamaica	0
592	27/12/2009	Fairchild	SA-227AC Metro III	CP-2590	Bolivia	0
593	29/12/2009	Airbus	A320-230	UR-WUB	Ucrania	0
594	02/01/2010	Boeing	B727-200F	9Q-CAA	R.D.C.	0
595	02/01/2010	Fairchild	SA-227AC Metro III	N227ML	USA	0
596	09/01/2010	Ilyushin	Il-76TD	EP-GOM	Ucrania	0
597	16/01/2010	Boeing	B737-500	VQ-BAC	Rusia	0
<b>N° ACCIDENTE</b>	<b>FECHA</b>	<b>FABRICANTE AERONAVE</b>	<b>MODELO AERONAVE</b>	<b>MATRÍCULA</b>	<b>PAÍS</b>	<b>TOTAL FALLECIDOS</b>
598	19/01/2010	Boeing	B737-900	PK-LFM	Indonesia	0
599	19/01/2010	Canadair	CRJ 200LR	N246PS	USA	0
600	21/01/2010	Embraer	ERJ-145LR	XA-WAC	Mexico	0
601	23/01/2010	ATR	ATR-42-500	YR-ATG	Rumania	0
602	28/01/2010	Antonov	An-26	4L-IFE	Indonesia	0
603	28/01/2010	Boeing	B737-800	YR-BIC	Rumania	0
604	01/03/2010	Boeing	B737-200	5H-MVZ	Tanzania	0
605	04/03/2010	Fokker	F-27	5Y-BRN	Somalia	0
606	25/03/2010	Boeing	B737-300	5R-MFI	Madagascar	0
607	13/04/2010	Boeing	B737-300	PK-MDE	Indonesia	0
608	05/05/2010	Embraer	ERJ-145LR	HK-4536	Colombia	0
609	18/05/2010	de HavillandCanada	DHC-5A	C-FASY	Canada	0
610	22/05/2010	Boeing	B737-800	VT-AXV	India	158
611	03/06/2010	Fairchild	SA-226TC Metro II	C-GCAW	Canada	0
612	16/06/2010	Embraer	ERJ-145LR	N847HK	Canada	0
613	21/07/2010	Antonov	An-12	RA-11376	Rusia	0
614	28/07/2010	Boeing	B737-700	TS-IEA	Guinea	0

<b>615</b>	12/08/2010	Airbus	A319-100	4K-AZ04	Turquía	0
<b>616</b>	21/08/2010	Boeing	B737-500	5N-BLE	Nigeria	0
<b>617</b>	26/08/2010	Fokker	F-100	EP-ASL	Iran	0
<b>618</b>	02/09/2010	Boeing	B747-400	B-16410	Taiwan	0
<b>619</b>	07/09/2010	Tupolev	Tu-154M	RA-85684	Rusia	0
<b>620</b>	12/10/2010	Dornier	228-200	9N-AHB	Nepal	0
<b>621</b>	31/10/2010	Airbus	A310-300F	TC-JCV	Marruecos	0
<b>622</b>	02/11/2010	Boeing	B737-400	PK-LIQ	Indonesia	0
<b>623</b>	06/11/2010	Douglas	DC-3	HK-4700	Colombia	0
<b>624</b>	13/11/2010	Fairchild	SA-227AC Metro III	N781C	Perú	0
<b>625</b>	18/11/2010	Lockheed	C-130H	7O-ADD	Yemen	0
<b>626</b>	19/11/2010	Lockheed	C-130	7T-WHA	Francia	0
<b>627</b>	04/12/2010	Tupolev	Tu-154M	RA-85744	Rusia	2
<b>628</b>	14/12/2010	Antonov	An-24RV	RA-47305	Rumania	0
<b>629</b>	18/12/2010	Fairchild	SA-226TC Metro II	C-GQAJ	Canada	0
<b>630</b>	25/12/2010	Ilyushin	Il-96-300	RA-96015	Rusia	0

*Fuente: World Aircraft Accident Summary*