

RESUMEN DE DATOS

LOCALIZACIÓN

| | |
|--------------|---|
| Fecha y hora | Viernes, 31 de agosto de 2007; 21:05 h UTC |
| Lugar | Aeropuerto internacional Mariscal Sucre de Quito (Ecuador) |

AERONAVE

| | |
|---------------|-------------------------|
| Matrícula | EC-JFX (MSN 672) |
| Tipo y modelo | AIRBUS A-340-600 |
| Explotador | Iberia, L.A.E. |

Motores

| | |
|---------------|---------------------------------------|
| Tipo y modelo | ROLLS ROYCE RB211-Trent 556-61 |
| Número | 4 |

TRIPULACIÓN

| | Piloto al mando | Copiloto |
|---------------------------|-----------------|----------------|
| Edad | 54 años | 38 años |
| Licencia | PTLA | PTLA |
| Total horas de vuelo | 14.529 h | 6.597 h |
| Horas de vuelo en el tipo | 3.160 h | 5.392 h |

LESIONES

| | Muertos | Graves | Leves/ilesos |
|----------------|---------|--------|--------------|
| Tripulación | | | 16 |
| Pasajeros | | | 304 |
| Otras personas | | | |

DAÑOS

| | |
|-------------|----------------|
| Aeronave | Menores |
| Otros daños | Ninguno |

DATOS DEL VUELO

| | |
|-------------------|--|
| Tipo de operación | Transporte aéreo comercial – Regular – Internacional de pasajeros |
| Fase del vuelo | Aterrizaje – Toma de contacto |

INFORME

| | |
|---------------------|------------------------------|
| Fecha de aprobación | 21 de febrero de 2011 |
|---------------------|------------------------------|

0. SINOPSIS

El incidente fue notificado al día siguiente por la Junta Investigadora de Accidentes (JIA) de la República del Ecuador a la Comisión de Investigación de Accidentes e Incidentes de Aviación Civil (CIAIAC), que nombró un representante acreditado de acuerdo al Anexo 13 de OACI. Posteriormente la JIA delegó la investigación a la CIAIAC. Se informó al BEA de Francia de este hecho.

1. INFORMACIÓN FACTUAL

1.1. Reseña del vuelo

1.1.1. *Crucero y aproximación*

El avión había despegado de Madrid-Barajas a las 10:50 h y tras un vuelo totalmente normal había llegado al espacio aéreo de Ecuador. La tripulación de ese vuelo transatlántico estaba formada por el piloto al mando, un comandante de refuerzo y dos copilotos.

La pista en servicio en el aeropuerto Mariscal Sucre de Quito era la 17. El METAR del aeropuerto de las 20:30 h indicaba viento 120° y 9 kt, con ráfagas de 19 kt y dirección variable entre 060° y 180°. La temperatura era 17°, punto de rocío 5°, QNH 1.026 hPa, visibilidad de 10 km o más y nubosidad de 5 a 7 octas a 1.200 m y de 3 a 4 octas a 3.000 m. La publicación de información aeronáutica (AIP Ecuador) le da al umbral de la pista 17 una elevación de 9.217 ft.

El control de tránsito aéreo (ATC) les autorizó a descender a 17.000 ft y a proceder a base izquierda de la pista 17.

La tripulación del EC-JFX no aceptó esa maniobra y solicitó si podía hacer la aproximación ILS a la pista 35 con vuelo en circuito visual («circling») a la 17, a lo cual el ATC les autorizó.

Aproximadamente a las 20:54 h hubo un aviso en cabina de fallo en la bomba hidráulica azul del motor 2 («B ENG2 PMP») y otro de baja reserva de hidráulico azul («B HYD RSVR»). El sistema azul no presuriza el sistema de frenos del avión.

Sobre las 21:00:55 h (tiempo del FDR) el vuelo notificó que estaba en final 35 en «aproximación visual a la 17 para viento en cola izquierda». La torre de control les autorizó el circuito visual a la 17 y les pidió que notificasen base izquierda.

La tripulación había armado la frenada automática en posición 2 para que se activase tras la toma de tierra. A las 21:01:08 h, con el avión a 11.600 ft de altitud,

desconectaron los dos pilotos automáticos. El control automático de empuje se mantuvo conectado durante toda la maniobra hasta la toma.

En el tramo de viento en cola a la 17 el avión descendió a 1.500 ft AGL y al pasar frente a la cabecera de la pista bajaron el tren de aterrizaje (a las 21:04:00 h). Diecisiete segundos después notificaron a la torre «Virando a base izquierda». A las 21:04:25 h informaron al ATC que estaban en final para la 17 y 23 s después fueron autorizados a aterrizar con viento 140° y 8 kt.

De acuerdo con los datos de viento grabados en el DFDR, corregidos por la deriva estimada y el efecto suelo, el avión, establecido en final, encontró un viento que varió aproximadamente entre 18 kt y 0 kt con dirección variable pero, en general, totalmente cruzado respecto al rumbo de la pista (172° magnéticos según la grabación del DFDR). La corrección de viento cruzado se realizó en general con ala casi nivelada (con correcciones pequeñas en alabeo) y manteniendo un ángulo de corrección de deriva (método de «crab»).

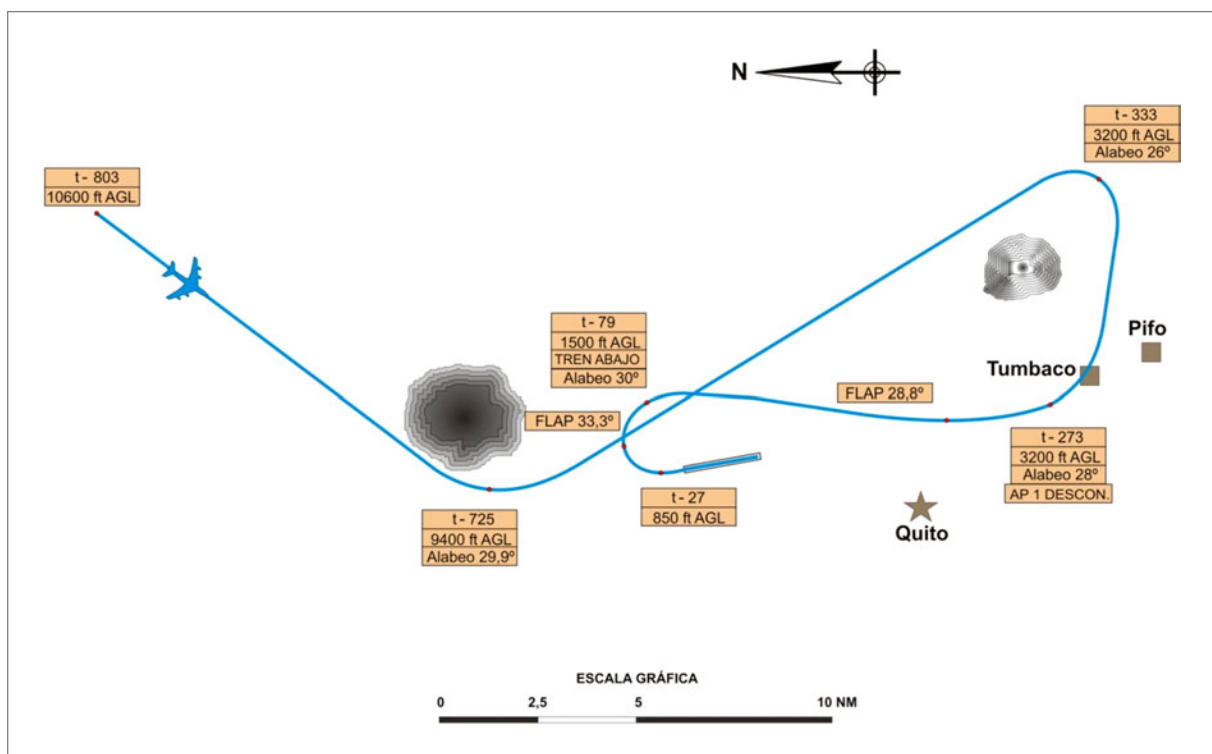


Figura 1. Esquema general de la trayectoria seguida por la aeronave según el DFDR

1.1.2. Aproximación final y toma de tierra

En la fase final de la aproximación, a 140 ft sobre el terreno, como indica el procedimiento del operador para aproximaciones visuales, el control automático de

empuje (A/THR) estaba conectado en modo velocidad (SPD), los directores de vuelo (FD) no estaban conectados (con lo que el A/THR gestionaba la velocidad), la frenada automática estaba seleccionada en posición «modo dos» («low»), los slats y flaps estaban en configuración «FULL» (24°/34°) y el centro de gravedad estaba aproximadamente al 33% de la cuerda media aerodinámica.

El avión llevaba en la fase final de la aproximación una derrota desviada unos 3° hacia la derecha respecto a la dirección de la pista, y en ese momento su rumbo era prácticamente el de la pista. Posteriormente se incrementó el ángulo de corrección de deriva, de modo que en el contacto con el terreno el ala estaba nivelada, el fuselaje tenía unos 7° de desalineación a la izquierda respecto al eje de la pista y la derrota o trayectoria del centro de gravedad de la aeronave respecto al terreno formaba un ángulo de unos 3° hacia la derecha del eje de la pista.

La primera señal de tierra en los microinterruptores de las patas del tren principal se grabó a las 21:05:06 h. La velocidad V_c era unos 146 kt. El peso de la aeronave en la toma era 240,3 toneladas (el peso máximo al aterrizaje es 259 toneladas). Como se excedieron ciertos valores de aceleración vertical y de velocidad de descenso, el avión generó un informe de cargas «Load report 15», según el cual entre el segundo anterior y posterior a la toma se registraron los siguientes valores límite de diversos parámetros:

| | Máximo | Mínimo |
|--|--------------|------------|
| Aceleración vertical | 2,080 g | 1,018 g |
| Aceleración lateral | -0,050 g | -0,561 g |
| Roll angle | 2,5° | -0,4° |
| Pitch angle | 5,7° | 3,7° |
| Régimen de descenso según el radio-altímetro | -16,0 ft/seg | 6,7 ft/seg |

El avión tocó la superficie de la pista a unos 160 m del comienzo de la misma, con 175 kt de velocidad respecto al terreno, y desde ese punto aparecieron trozos de neumáticos a lo largo de todo su recorrido de aterrizaje, en el cual la aeronave se mantuvo aproximadamente alineada con el eje de pista hasta que se detuvo en un punto distante 2.720 m desde el comienzo de la misma.

Tras el contacto con la pista, y como consecuencia de haberse dañado el mazo de cables 2M de la pata central del tren de aterrizaje principal (véase el punto 1.3.3), el avión generó los avisos «L/G LGCIU 2 FAULT» («Landing Gear Control and Interface Unit»), «WHEEL TIRE LO PR», «BRAKES AUTO BRK FAULT» y «BRAKES RELEASED». Los dos últimos se mostraron en el ECAM inmediatamente después de dicho contacto, en tanto que los dos primeros no se mostraron por inhibirse su presencia desde el momento de

la toma de contacto hasta que la velocidad es inferior a 80 kt. Por otra parte, los spoilers se extendieron y las reversas actuaron correctamente.

1.1.3. *Carrera de aterrizaje y evacuación del avión*

Durante la carrera de aterrizaje, la torre de control avisó a la tripulación del avión EC-JFX que se observaba neumáticos destrozados, lo que fue colacionado desde el avión a las 21:06:22 h. También les indicó que mantuvieran posición y la tripulación preguntó a las 21:06:48 h por la presencia de los bomberos. La torre confirmó entonces que los bomberos estaban ya tras su posición. La tripulación preguntó si se veía humo o algo anormal.

La tripulación preparó a los tripulantes de cabina por si hubiera que hacer una evacuación de emergencia. Más tarde los bomberos confirmaron a la torre que el avión no podía rodar por sus propios medios, lo que fue corroborado por el personal de mantenimiento de la compañía que se personó en el lugar.

Las ruedas 10, 4 y 8 aparecían reventadas. La rueda 12 aparecía desinflada y las ruedas 3 y 7 soportaron una alta temperatura de frenos.

A las 21:13:38 h la tripulación del avión preguntó si se podía desembarcar a los pasajeros in situ, ya que había que cambiar las ruedas en la propia pista y se necesitaba aproximadamente hora y media para esa operación. La torre de control autorizó esa operación y los pasajeros desembarcaron por una escalera colocada en la puerta delantera izquierda (la más alejada de las ruedas reventadas) y fueron trasladados a la terminal mediante jardineras.

1.1.4. *Acciones posteriores*

Tras la sustitución de las ruedas reventadas y desinfladas, el avión fue trasladado a la plataforma. Posteriormente se sustituyeron también los neumáticos 3, 7, 9 y 11 debido a sobrecarga.

En su informe tras el incidente, el piloto al mando no informó de que hubiese notado algún fallo técnico durante la aproximación y el aterrizaje. En su opinión la aproximación había sido completamente estabilizada y no preveía que pudiese dar lugar a una toma con esa excesiva dureza.

La inspección de la pista tras el incidente permitió observar numerosos restos de neumático esparcidos desde el mismo momento de la toma de tierra, incluyendo una banda de rodadura a unos 600 m desde el umbral. No se informó de que se hubiese encontrado ningún objeto extraño en la superficie de la pista que pudiera haber dañado los neumáticos.

1.2. Información sobre el personal

1.2.1. *Piloto al mando (CM-1), ocupando el asiento izquierdo*

| | |
|--|---------------------------------|
| Sexo, edad: | Varón, 54 años |
| Nacionalidad: | Española |
| Habilitación de tipo: | A-340 |
| Habilitaciones de tipo anteriores: | B-767, B-757, DC-9, B-747 |
| Horas de vuelo totales: | 14.529 h |
| Horas de vuelo en el tipo: | 3.160 h (todas como comandante) |
| Horas durante los últimos 30 días: | 26:15 h |
| Horas durante los últimos 7 días: | 0 h |
| Horas durante las últimas 72 h: | 0 h |
| Último simulador: | 27-3-2007 |
| Comienzo del periodo vigente de actividad aérea: | 9:15 h el 31-8-07 |
| Periodo de descanso previo: | Quince días |

El piloto al mando tenía una experiencia de 21 años en la compañía. Llevaba volando en el A-340-300 desde junio de 2001 y posteriormente lo alternaba con el A-340-600. Había volado con anterioridad a Quito en 12 ocasiones (en -300 y -600), y había aterrizado pocas veces en la pista 17 (con el -300 y -600). No fue posible determinar el número exacto de aterrizajes que había realizado en esa pista.

El elevado número de tripulantes del operador hacía que, debido a las rotaciones en las programaciones, cada comandante aterrizase sólo unas pocas veces al año en Quito.

Según un análisis de datos FDR del último año que había realizado el operador, aproximadamente el 15% de los vuelos entraban por la 17, sobre todo en los meses de junio a agosto debido a los vientos dominantes.

El programa («syllabus») de entrenamiento del operador del segundo trimestre del año 2006 estaba centrado en Quito, y por tanto las aproximaciones a ambas pistas se realizaban en simulador del -300 (el operador no tenía simulador de A-340-600 a la fecha del incidente).

1.2.2. *Copiloto (CM-2), ocupando el asiento derecho*

| | |
|---------------|----------------|
| Sexo, edad: | Varón, 38 años |
| Nacionalidad: | Española |

| | |
|--|-------------------------------|
| Habilitación de tipo: | A-340 |
| Habilitaciones de tipo anteriores: | MD-87 |
| Horas de vuelo totales: | 6.597 h |
| Horas de vuelo en el tipo: | 5.391 h (todas como copiloto) |
| Horas durante los últimos 30 días: | 33:55 h |
| Horas durante los últimos 7 días: | 0 h |
| Horas durante las últimas 72 h: | 0 h |
| Último simulador: | 15-7-2007 |
| Comienzo del periodo vigente de actividad aérea: | 9:15 h UTC el 31-8-2007 |
| Periodo de descanso previo: | Quince días |

El CM-2 estaba en la compañía desde el 1-12-1997. Había volado con anterioridad a Quito en 18 ocasiones, y había aterrizado sólo unas pocas veces en la pista 17, aunque no fue posible determinar ese número con exactitud.

1.3. Información técnica sobre la aeronave

1.3.1. General

El A-340-600 había sido utilizado por el operador para volar al aeropuerto de Quito desde el diciembre de 2005. El avión transporta, en una configuración típica con dos clases, 352 pasajeros (comparado con 266 pasajeros en una configuración típica del A-340-313). El peso máximo al aterrizaje del avión EC-JFX (número de serie MSN 672) es de 259 toneladas.

El tren de aterrizaje principal del Airbus A-340-600 tiene tres patas con cuatro ruedas cada una, que se numeran como se muestra en la figura 2 adjunta. Las doce ruedas llevan frenos. Los neumáticos son radiales Michelin Near Zero Growth (NZG) de medida 1400 x 530R23/40/235, número de parte (P/N) M16004. Estos neumáticos cumplen la "technical standard order" (TSO) 62D de la Federal Aviation Administration (FAA). El límite de velocidad del neumático («tire speed limit») es 235 mph (204 kt o 378 km/h).

Los ángulos de cabeceo que producen un golpe de la cola con la pista son 12° (amortiguadores totalmente extendidos) y 8,5° (amortiguadores totalmente comprimidos). Estos valores se deben comparar con 14,2° y 10,1° respectivamente para el A-340-300.

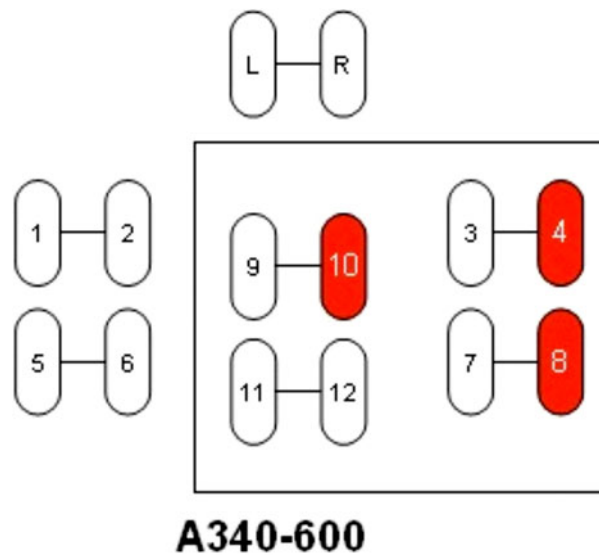


Figura 2. Numeración de las ruedas según esquema elaborado por el fabricante de los neumáticos (Michelin)

El Manual de Vuelo de la aeronave, sección 4.03.00 P 07A, 17-4-2003, proporciona la tabla adjunta con la pérdida de altitud que se produce tras el inicio de una maniobra automática de motor y al aire dependiendo de la altura a la que se encuentre el avión en ese momento:

Altitude loss after automatic go around initiation

| Initiation height (ft) | Height loss (ft) |
|------------------------|------------------|
| Above 75 | 32 |
| 50 | 22 |
| 40 | 18 |
| 30 | 14 |
| 20 | 10 |

Tras la toma de tierra en el vuelo del incidente se realizaron las siguientes tareas en el sistema de frenos:

SANGRADO DE CONJUNTOS DE FRENOS SISTEMA ALTERNATIVO AMM 32-43-00-870-801

SANGRADO DE CONJUNTOS DE FRENOS SISTEMA NORMAL AMM 32-42-00-870-801

En el historial reciente de mantenimiento de la aeronave no había reportes de problemas de frenos que hubieran podido tener relación con el incidente.

El avión llevaba incorporados los siguientes boletines de servicio emitidos por Airbus:

- Cambio en la ley de control de vuelo para mejora del comportamiento lateral («Flight Control Law – improvement in lateral behaviour»), incorporado el 3-2-2006.
- Nuevo estándar para la computadora de avisos de vuelo (FWC W5), SB31-5024, incorporado el 17-2-2007.
- SB 31-5029 para activación de los avisos («callouts») de 70-60 ft, incorporado el 17-2-2007.

Las ruedas 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11 y 12 del avión (véase figura 2) fueron enviadas para inspección detallada a las instalaciones de su fabricante Michelin en Francia. Los resultados más relevantes de esta inspección (informe RG Number 307-122 de Michelin) fueron:

- No se encontró nada anormal en los registros de fabricación de los neumáticos.
- Los neumáticos 4, 8 y 10 soportaron elevadas cargas durante la toma con unos esfuerzos, deformaciones y deriva considerables.

Los neumáticos que reventaron se habían deformado en las siguientes condiciones:

- Impacto severo en el aterrizaje, en la cara exterior de la corona (del lado del número de serie).
- Flexión de la cara lateral, contacto con el suelo, fricción y abrasión total de la cara lateral, causando un rápido desinflado y reventón.
- Dislocación del neumático durante la realineación de la aeronave con el eje de la pista con desplazamiento totalmente desinflado, rotura de las capas de la carcasa en la llanta y en los flancos («shoulders»); fricción, raspado y perforación de la capa de rodadura y rotura total del bloque de la capa de rodadura.

La carga y esfuerzo soportados por esos tres neumáticos durante la toma dura con deriva llevaron al rápido reventón tras el impacto con la pista y dislocación de los elementos durante el recorrido posterior cuando ya estaban totalmente deshinchados.

En los otros 5 neumáticos no se detectó ninguna anomalía, excepto arañazos transversales en los flancos y arañazos longitudinales a 10° en la banda de rodadura, confirmando la existencia de una toma con deriva.

1.3.2. *Carga límite en los neumáticos*

Airbus informó que su especificación de neumáticos incluía un requisito específico para cubrir los aterrizajes con resbalamiento, que indicaba que el neumático no sufrirá daños en una toma con una combinación de velocidad de descenso y ángulo de deriva incluida en el gráfico de la figura 3 adjunta.

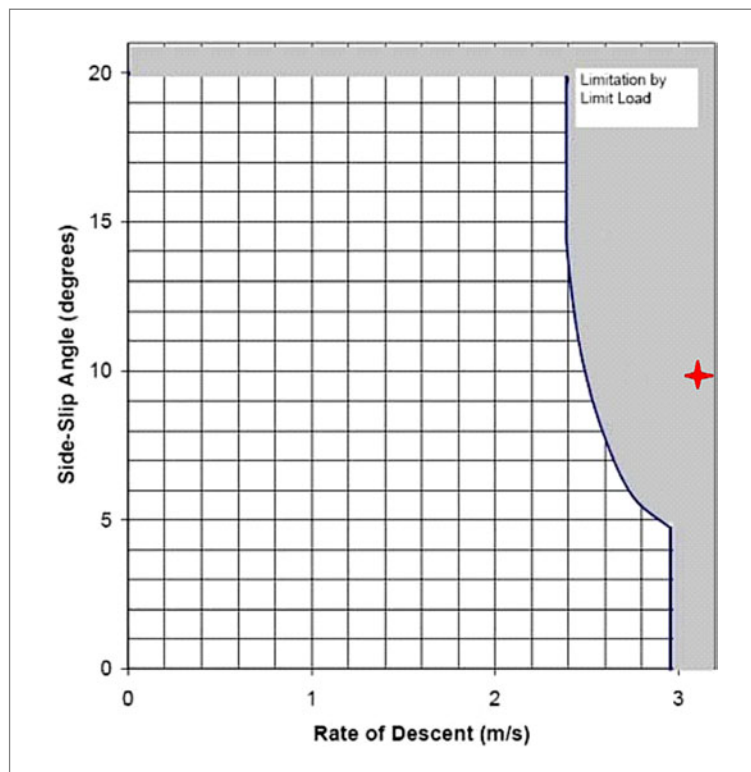


Figura 3. Dominio operacional de los neumáticos del A-340-600. Se ha marcado el punto de la toma del EC-JFX en el incidente, con aproximadamente 3,3 m/s y 10° de resbalamiento

La especificación de Airbus también detallaba la curva de velocidad/tiempo que había que aplicar para demostrar la resistencia del neumático mediante un ensayo consistente en simular la toma con deriva en un dinamómetro, de modo que la velocidad decrece constantemente y al mismo tiempo la carga vertical también va variando. En el ensayo se alcanzaba un pico de carga vertical de unos 24.000 daN (véase figura 4).

Para el tipo de neumáticos del incidente, Airbus dijo que Michelin demostró el cumplimiento con este requisito realizando un ensayo en dinamómetro que simulaba una toma con más de 20° de resbalamiento y un régimen de descenso de 2,4 m/s (7,9 ft/s) sin que se dañara el neumático.

Airbus informó que sus cálculos indicaban que cada neumático del EC-JFX había estado sometido al menos a 36.000 daN durante la toma del incidente (asumiendo conservativamente una distribución uniforme de la carga entre las 12 ruedas). Por lo tanto, esa carga superaba los 24.000 daN de valor máximo ensayado durante la cualificación del neumático.

Un ensayo dinamométrico también se requiere en la «technical standard order» C62D de la FAA.

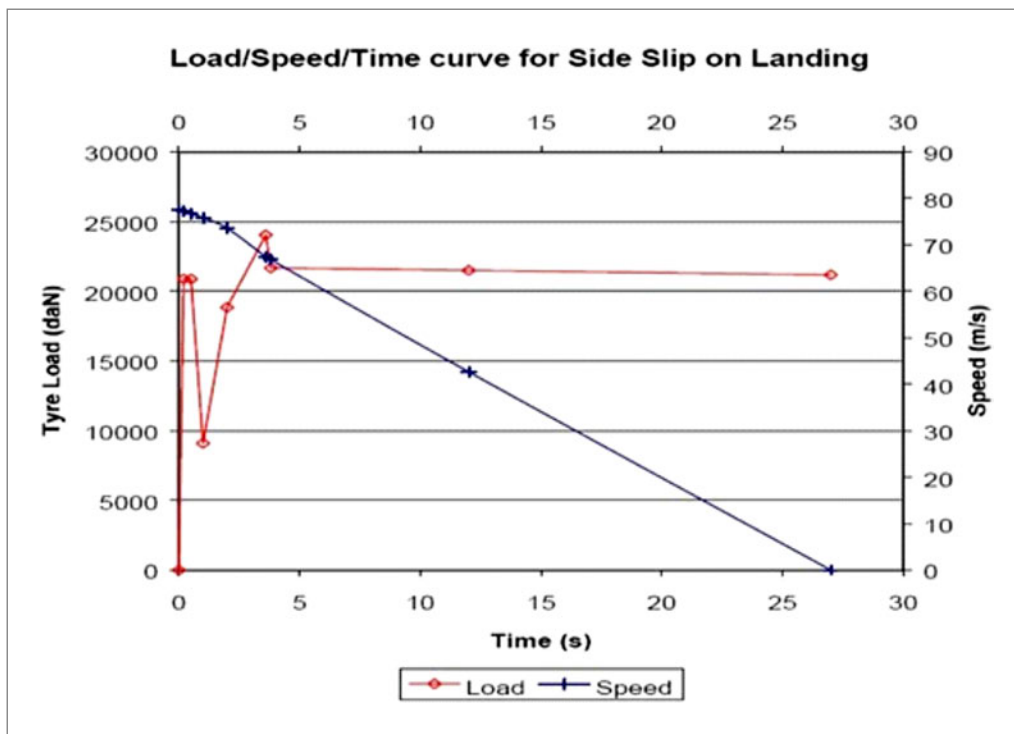


Figura 4. Combinación de velocidad y carga vertical utilizada en la calificación de aterrizaje con resbalamiento de los neumáticos que equipaban al EC-JFX

Además, Airbus indicó que en más de 160.000 ciclos acumulados por la flota A-340-500 y -600 que comparten el mismo tren y neumáticos, no se habían producido informes de fallos de neumáticos dentro de su dominio operacional. La experiencia de reventones en aterrizajes duros con excesiva deriva residual se limitaba a dos sucesos (véase punto 1.8).

1.3.2. Otros daños

Cabe reseñar que en la pata central del tren de aterrizaje principal se encontraron dañados el mazo de cables 2M y su conector al bogie; este mazo recorre la parte delantera de dicha pata del tren y a través de él se transmiten las señales de posición del bogie y giro de las ruedas a la LGCIU («Landing Gear Control and Interface Unit») número 2. La ausencia de daños en el bogie indica que estos daños se produjeron, probablemente, por impacto de trozos desprendidos de los neumáticos.

1.4. Información meteorológica

Los METAR del aeropuerto de Quito aplicables a la aproximación y la toma fueron los siguientes:

| | 21:00 h | Especial 21:07 h | 21:30 h |
|----------------|---|---|---|
| Viento | 110° 9 kt, con ráfagas de 19 kt, su dirección variando de 040° a 150° | 100° 7 kt | 110° 8 kt |
| Nubosidad | 5 a 7 octas a 1.200 m; de 3 a 4 octas a 3.000 m | 5 a 7 octas a 1.200 m; de 3 a 4 octas a 3.000 m | 5 a 7 octas a 1.200 m; de 3 a 4 octas a 3.000 m |
| Temperatura | 16° | 16° | 16° |
| Punto de rocío | 4° | 4° | 4° |

En los tres casos la visibilidad horizontal era superior a 10 km, el QNH era 1.026 hPa y no se preveían cambios significativos.

1.5. Información sobre el aeródromo

El aeropuerto de Quito tiene una pista 35/17 de 3.120 x 46 m, con 352° y 172° de rumbo magnético respectivamente. La franja de pista tiene 3.240 x 160 m. La pista 35 tiene un área de seguridad de extremo de pista (RESA) de 280 x 90 m.

La pista 35 tiene un ILS de Categoría I, mientras que la 17 no dispone de ILS. La pista 35 tiene un sistema de luces Indicador de trayectoria de aproximación de precisión (PAPI) situado a la izquierda que proporciona una pendiente de aproximación de 3,12°. La pista 17 también tiene un PAPI situado a la izquierda con una pendiente de aproximación de 3°.

En la Figura 5(a) se ha representado el perfil longitudinal de la pista; en ella se puede observar que la pista 17 empieza con una pendiente ascendente del orden del 1%.

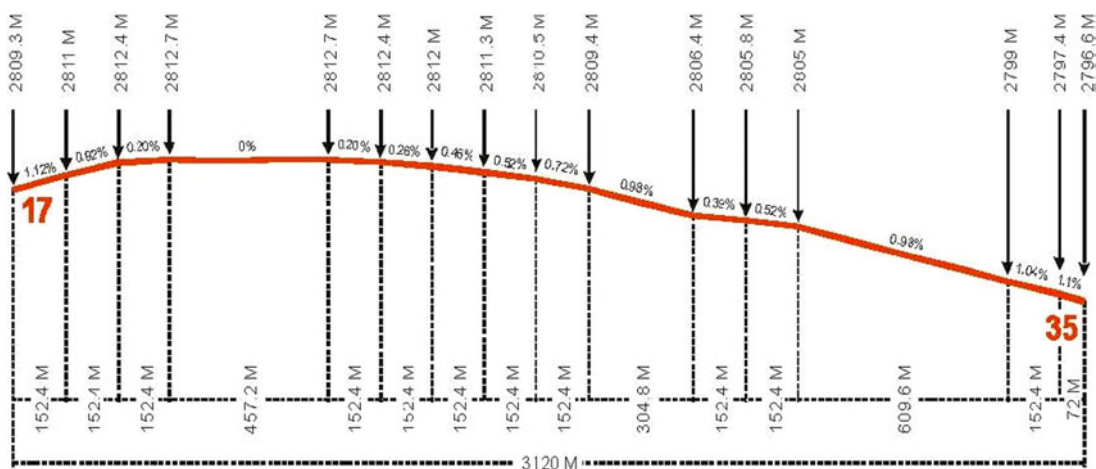


Figura 5(a). Perfil longitudinal de la pista

1.6. Registradores de vuelo

1.6.1. Registrador de voz en cabina

El avión llevaba un registrador de voz en cabina de estado sólido Honeywell P/N 980-6022-001. Este registrador graba los últimos treinta minutos de sonidos en la cabina de vuelo en cuatro pistas correspondientes al micrófono del CM-1, micrófono del CM-2, micrófono del CM-3 y micrófono de ambiente. Hay otras dos pistas que graban dos horas del micrófono de ambiente y los otros tres canales mezclados en uno sólo.

La descarga de la información de este registrador permitió obtener los correspondientes ficheros de sonido. Sin embargo, se determinó que probablemente el avión permaneció energizado y el registrador grabando bastante tiempo después de producirse el incidente, ya que en el canal del micrófono de área se puede oír lo que parece el sonido de aeronaves despegando o aterrizando y finalmente la presencia en la cabina de más de una persona con acento ecuatoriano, posiblemente personal de mantenimiento del operador, que hablan entre sí y parecen accionar diferentes interruptores hasta que acaba la grabación. Por lo tanto, el CVR no pudo aportar información de utilidad a la investigación.

En este punto, cabe reseñar que el operador de la aeronave había establecido, con fecha 24 de mayo de 2006, procedimientos¹ para que el personal de mantenimiento desconectara el CVR tras un incidente, contemplados en el apartado 5.4 de la denominada *Norma MK-NT01 QR25*, en los términos siguientes:

«5.4 Preservación de Evidencias

La Base o Destacamento de Mantenimiento deberá preservar toda posible evidencia del accidente o incidente grave, desde el primer momento y hasta que las Autoridades, o la Unidad de Procedimientos y Seguridad en el caso de que no hayan instrucciones explícitas de las Autoridades, lo determinen.

La preservación de las evidencias consta de:

- Preservación de registros CVR, FDR, DAR/QAR/EQAR, PCMCIA. Se impedirá la grabación de nuevos datos/parámetros para evitar borrar por sobre-escritura registros anteriores. Para ello, en cuanto el personal TMA acceda al avión deberá retirar la alimentación eléctrica a los equipos, de acuerdo con las instrucciones del AMM. En ausencia de instrucciones de Autoridades, y si el avión no estuviese custodiado, deberán desmontarse los registradores y llevarlos a un lugar seguro y custodiado, hasta su entrega a las Autoridades, o para su envío al Departamento STAR de la Unidad de Fiabilidad, según proceda.

.../...»

¹ Este procedimiento tuvo su origen en la investigación realizada por la CIAIAC de un incidente ocurrido en el año 2005, en el que se dio la misma circunstancia que en éste en lo que a la grabación del CVR se refiere.

1.6.2. Registrador de datos de vuelo

El avión llevaba un registrador de datos de vuelo de estado sólido Honeywell P/N 980-4700-042 que se descargó y aportó información de utilidad para la investigación.

Los datos de mayor relevancia para la investigación se presentan en los siguientes gráficos. El régimen de descenso representado es el valor grabado en el FDR (parámetro IVV). La velocidad indicada y la velocidad respecto al terreno (GS o «ground speed») tienen una notable diferencia al estar el aeropuerto a gran altitud.

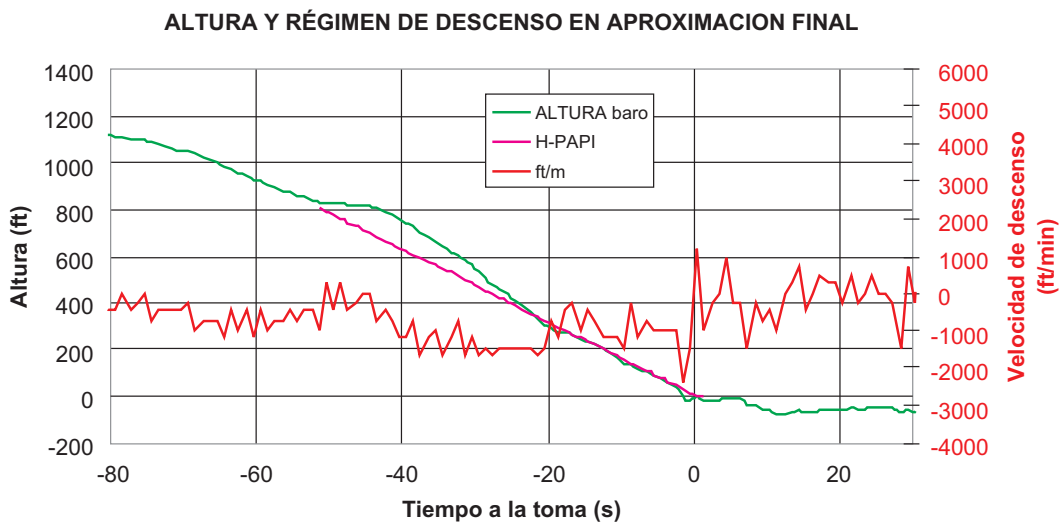


Figura 6. Régimen de descenso y senda de descenso

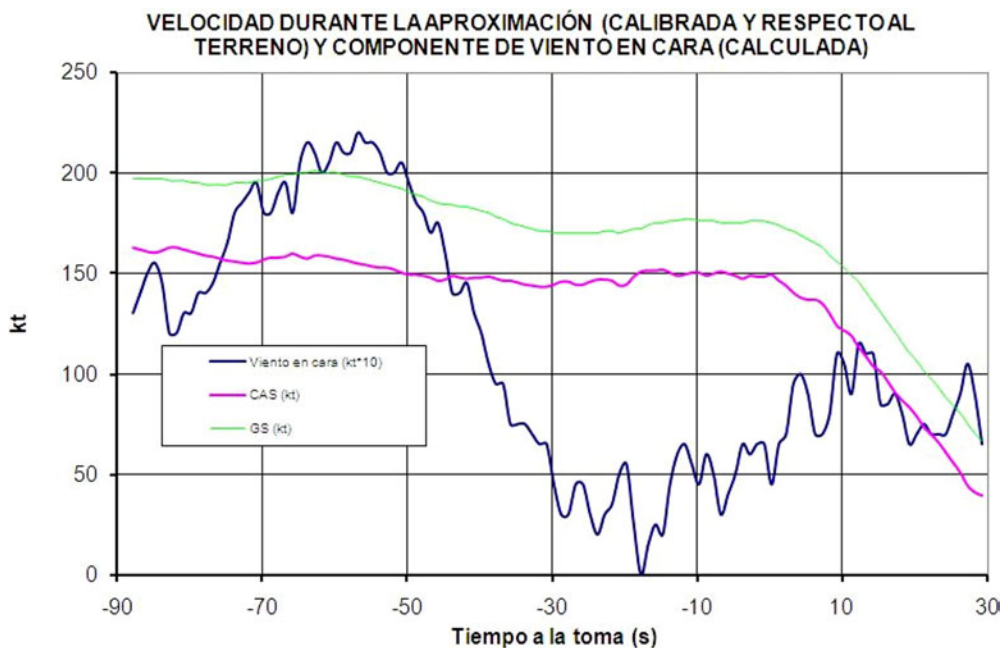


Figura 7. Velocidad del avión durante la aproximación

DATOS DE VIENTO EN EL DFDR CORREGIDOS
 (Se tiene en cuenta la deriva estimada y el efecto suelo)

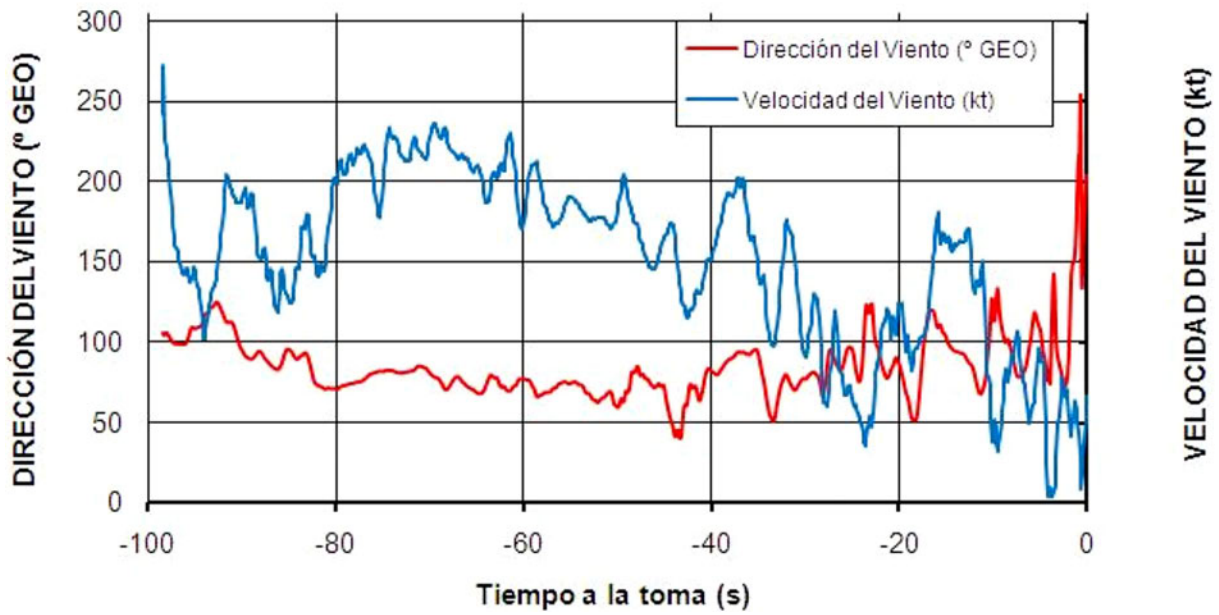


Figura 8. Velocidad y dirección del viento durante la aproximación

EVOLUCIÓN DE RUMBO, PEDAL DE TIMÓN DIRECCIÓN, Y TIMÓN DE DIRECCIÓN
 (DEFLEXIÓN NEGATIVA QUIERE DECIR HACIA LA DERECHA)

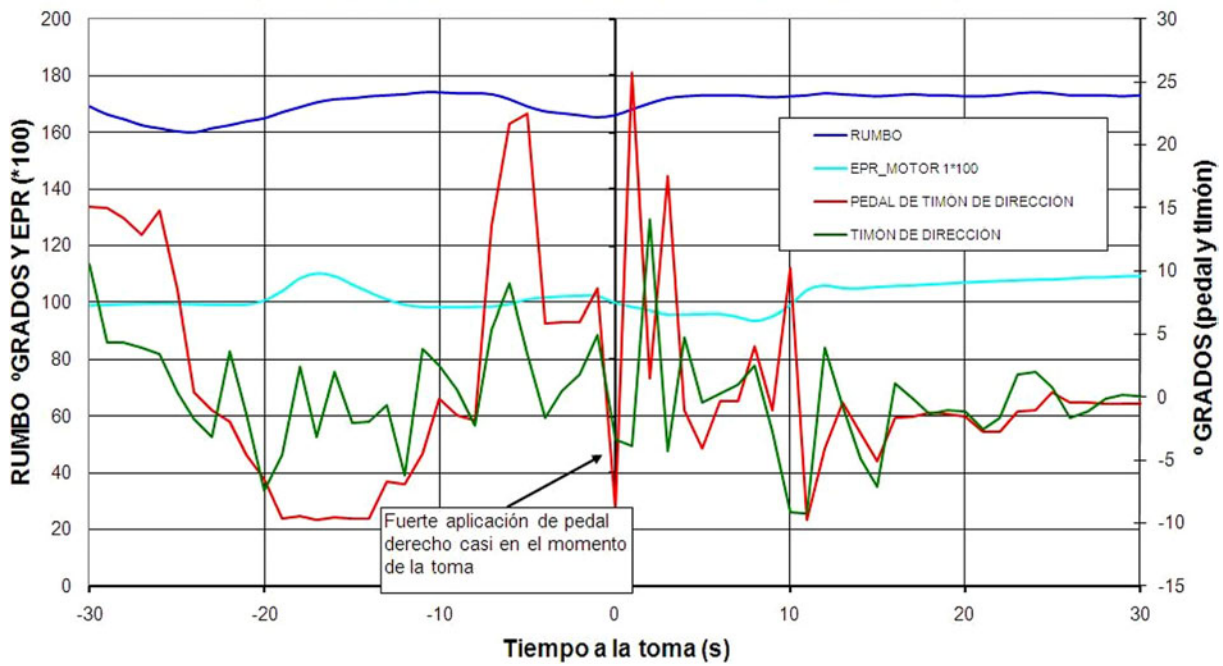


Figura 9. Rumbo y aplicación del pedal de dirección

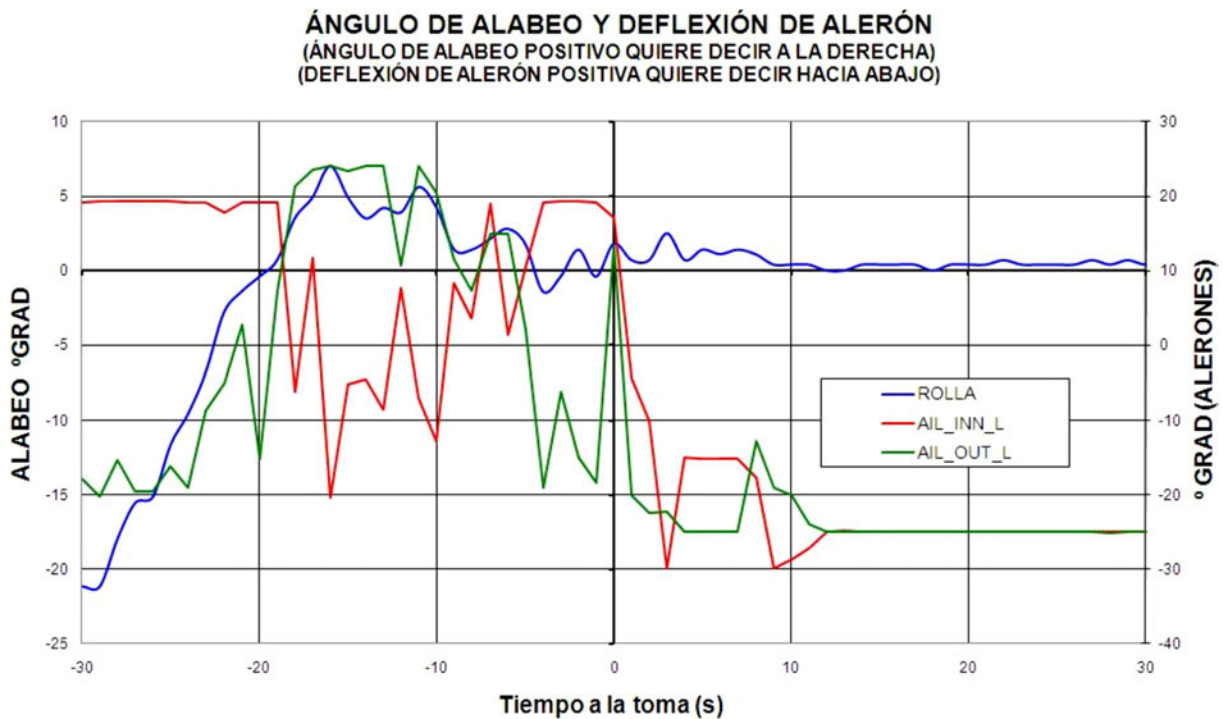


Figura 10. Alabeo y aplicación de alerones

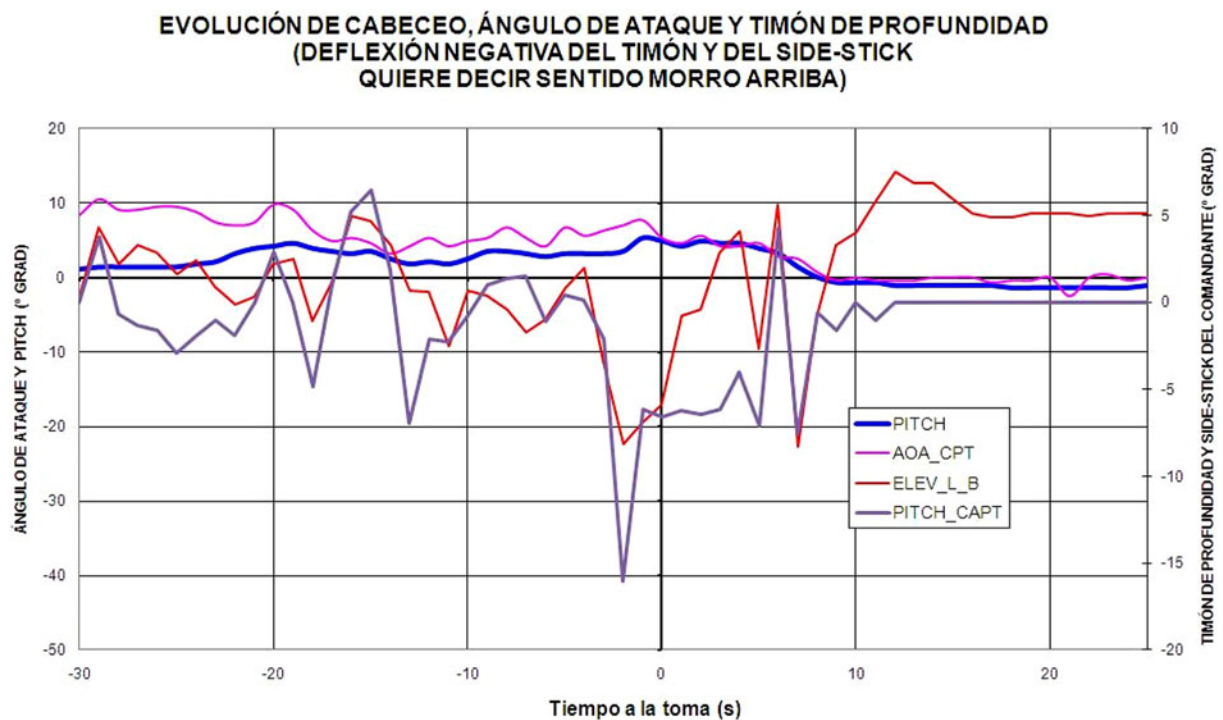


Figura 11. Cabeceo y aplicación de timón de profundidad

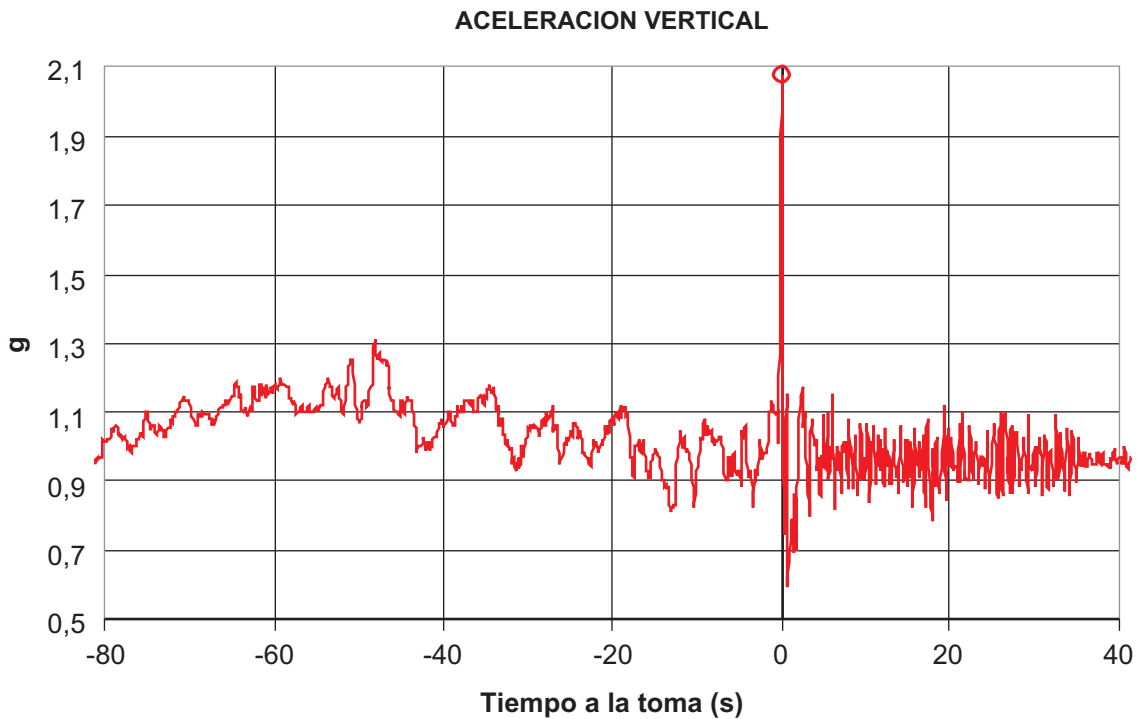


Figura 12. Aceleración vertical (máximo en la toma: 2,08 g)

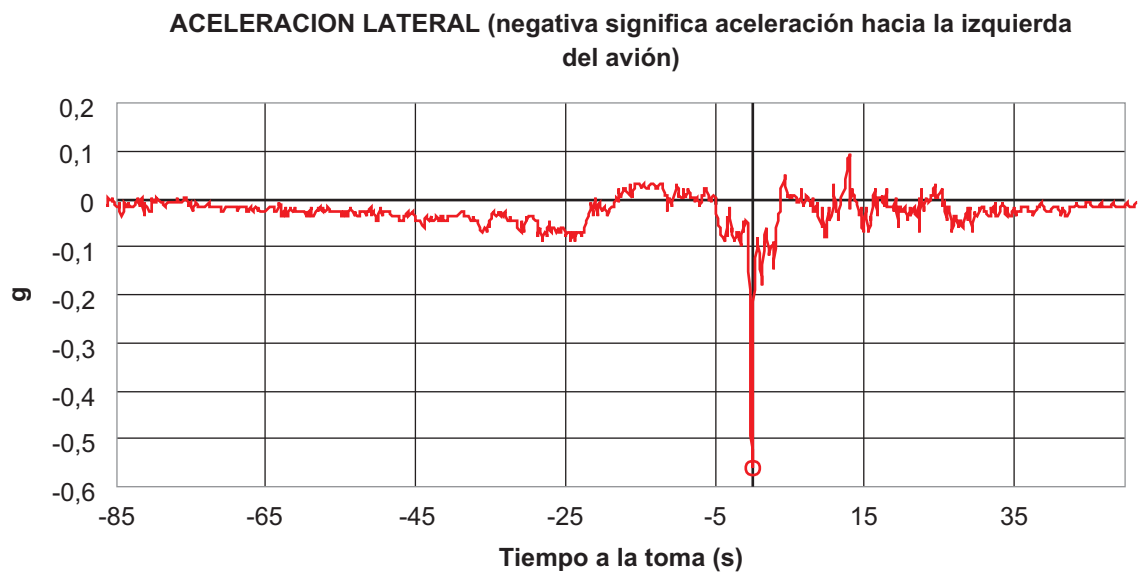


Figura 13. Aceleración lateral (máximo en la toma: -0,561, aceleración hacia la izquierda)

El empuje automático estuvo conectado todo el tiempo.

Hasta el segundo -25 hay ángulos de alabeo a la izquierda grandes, mientras se termina el viraje de base a final. Tras el viraje el rumbo del avión pasa a estar en el entorno de 160-165°. El gráfico de aceleración lateral en esos segundos muestra que el avión derrapa hacia la derecha (produciendo aceleración a la izquierda).

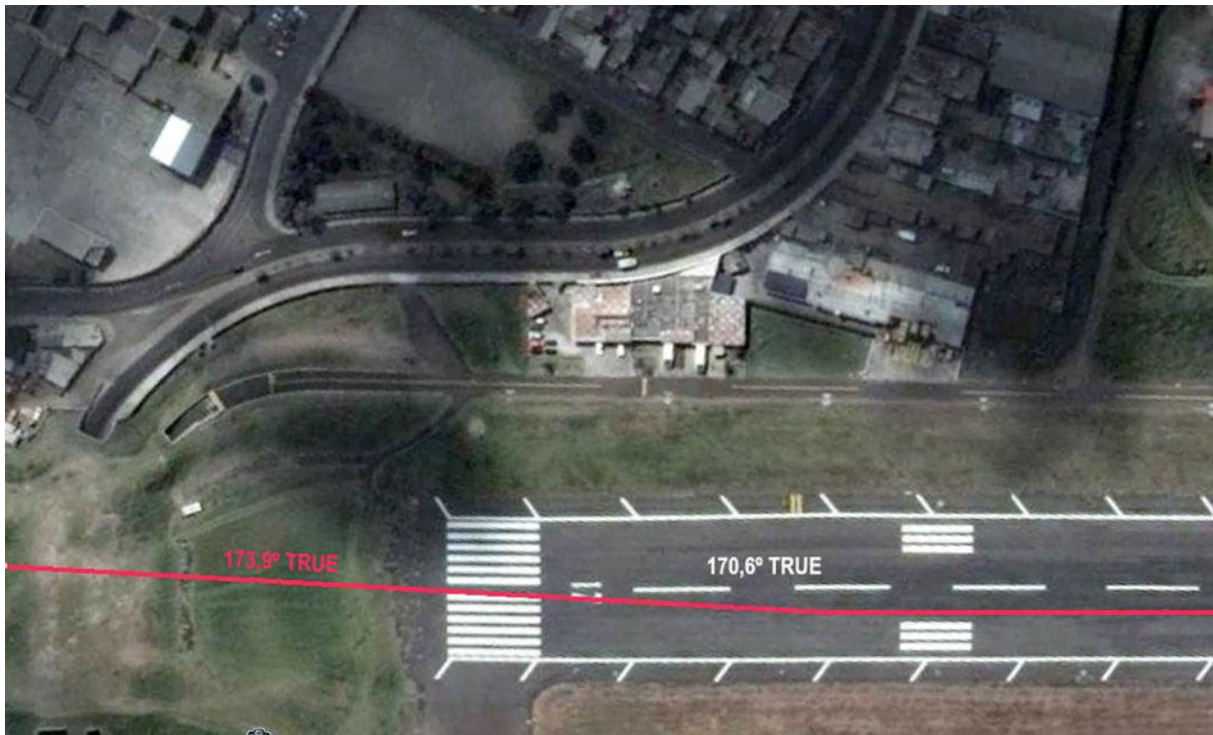


Figura 14. Parte final de la trayectoria de la aeronave obtenida de los datos de coordenadas del FDR ajustando el punto final en el que se detuvo la aeronave en la pista. Foto propiedad de Google Earth

De gran importancia en el suceso fueron los sucesivos cambios que se produjeron en la componente de viento cruzado durante los últimos 20 segundos previos a la toma.

El avión llevaba un alto régimen de descenso debido a la elevada velocidad respecto al suelo (no porque la aproximación fuera desestabilizada en ese aspecto) y en el último instante se produjo una rotación, que no pudo detener el elevado régimen de descenso.

Además, poco antes de producirse el contacto con la pista, hay una aplicación momentánea de pedal de timón de dirección a la derecha sin efecto porque no hay tiempo para que se corrija el ángulo de desalineación del fuselaje respecto al eje de la pista (ángulo de «crab»).

Los valores en la toma son:

- Actitud o ángulo de cabeceo del avión: alrededor de 5° (el máximo para producir un golpe de la cola con la pista son $8,5^\circ$ con amortiguadores totalmente comprimidos).
- Timón de profundidad: unos 6° en la dirección morro arriba.
- Rumbo: Entre 165° y 166° .
- Pedal: 9° a la derecha.

1.7. Procedimientos operacionales

El operador proporcionaba información y establecía procedimientos para el aeropuerto de Quito en su manual de operaciones, parte C (24-11-2005). Se indicaban los siguientes aspectos relevantes al incidente objeto de este informe:

- Dada la orografía del entorno, es imprescindible respetar estrictamente las velocidades máximas de las maniobras publicadas.
- La aproximación principal es la ILS-VOR 35. Se permitía un viento en cola de 10 kt.
- Para la pista 17 sólo es posible una aproximación circling al E [este] de la pista 17/35.
- La maniobra de circling con baja visibilidad está descrita en el «Flight Crew Operating Manual» (FCOM) emitido por el fabricante de la aeronave, sección 3.03.19 (véase figura 15). En ella se indica que es preciso realizar un tramo base al final del cual el avión está estabilizado a 400 ft de altura. La aproximación visual en circuito estándar se realiza a 1.500 ft sobre el terreno (véase figura 16).

Dadas las condiciones del Aeropuerto de Quito, el operador requería que el piloto a los mandos (PF) durante el aterrizaje fuese siempre el Comandante de la aeronave. Éste debía tener al menos un año de antigüedad en la flota A-340. Para mantener la habilitación del aeropuerto debía haber aterrizado allí al menos una vez en el último año. De lo contrario debía realizar entrenamiento en simulador de ese aeropuerto o bien volar allí como observador en un vuelo de línea normal.

No se tiene constancia de que el operador, por sí mismo o con apoyo del fabricante, hubiera hecho un estudio operacional a fondo de las condiciones de aterrizaje en la pista 17 de Quito cuando se iniciaron las operaciones a ese aeropuerto.

El operador no disponía de simulador de vuelo de A-340-600, aunque sí de A-340-300.

El fabricante proporcionaba información sobre aterrizajes con viento cruzado del A-340-600 en el FCOM aplicable al operador. En él se indica:

«Crosswind landings: The preferred technique is to use rudder to align the aircraft with the runway heading during the flare while using lateral control to maintain the aircraft on the runway centerline.»

Otra información operacional del fabricante (FCOM Bulletin No 814/1 de junio de 2004) indicaba:

«Before flare height, heading corrections should only be made with roll. As small bank angles are possible and acceptable close to the ground, only small heading changes can be envisaged. Otherwise, a go-around should be initiated. [...]

Use of rudder, combined with roll inputs, should be avoided, since this may significantly increase the pilot's lateral handling tasks. Rudder use should be limited to the "de-crab" manoeuvre in case of crosswind, whilst maintaining wings level with the sidestick in the roll axis.»

| | | | |
|--|-------------------------------|---------|--------|
| A340 IBERIA FLIGHT CREW OPERATING MANUAL | STANDARD OPERATING PROCEDURES | 3.03.19 | P 13 |
| | NON PRECISION APPROACH | SEQ 001 | REV 28 |

R

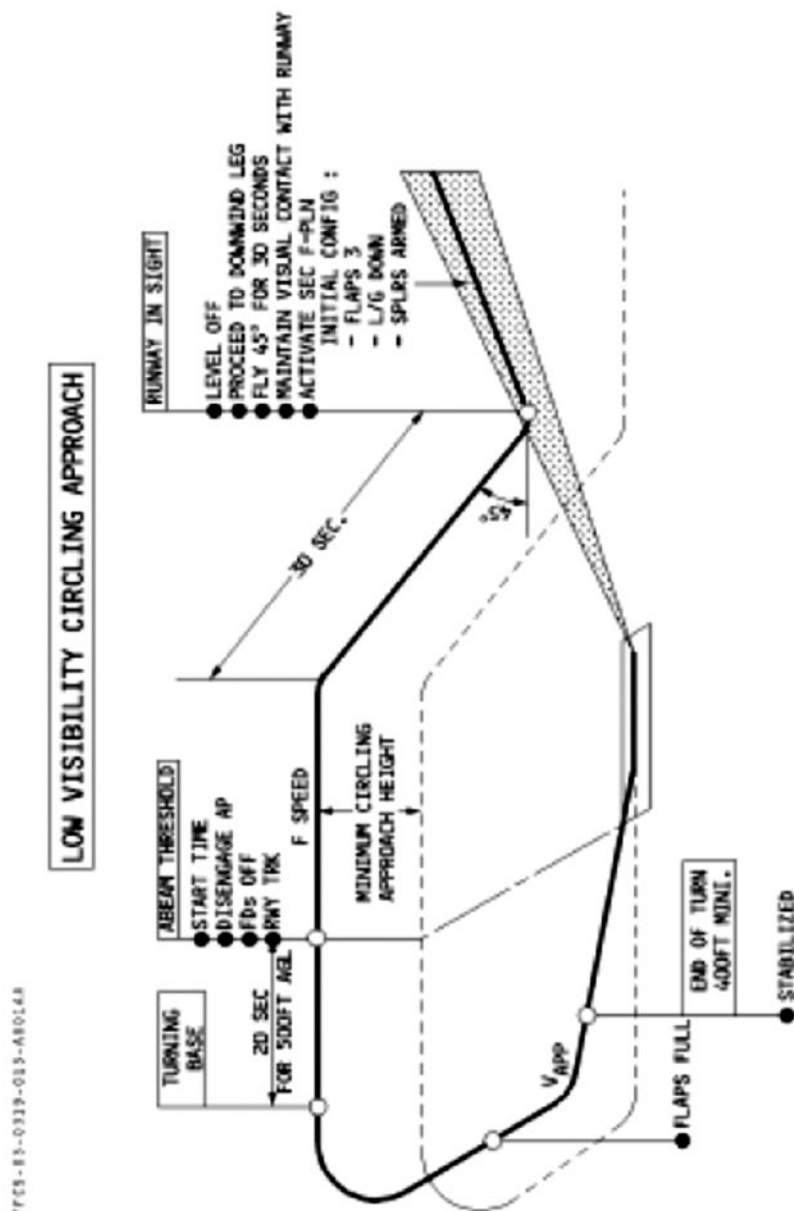


Figura 15. Maniobra de aproximación en circuito de baja visibilidad extraída del FCOM de Iberia

El «Flight Crew Training Manual» de Airbus indicaba en su apartado 02.160 que en caso de viento muy fuerte el avión puede tomar tierra con una deriva residual de 5° como máximo para evitar un alabeo excesivo (5°). Aunque el FCOM no incluía ninguna limitación en ese sentido, sí había un boletín operacional (FCOM Bulletin 819/1, diciembre-06, «Avoiding hard landing») que recogía esa limitación, además de muchas otras recomendaciones a aplicar durante aterrizajes con viento cruzado.

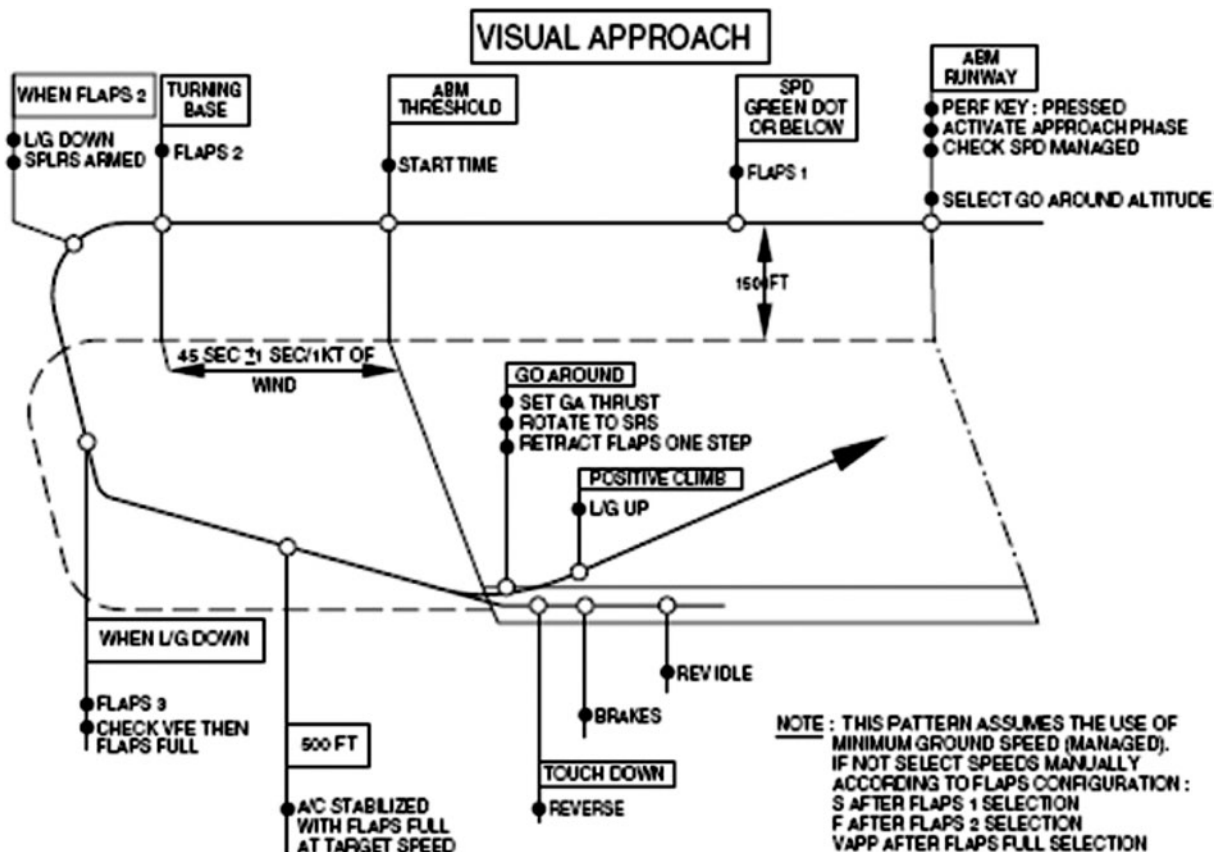


Figura 16. Circuito visual estándar, extraído del FCOM de Airbus

El operador tenía procedimientos generales para viento cruzado (para todo tipo de aeronaves) en su Manual de Operaciones Parte B 2.05.50. Aunque el manual no establecía ningún valor, la costumbre era eliminar el ángulo de crab mediante la aplicación de pedal cuando el avión estaba ya por debajo de unos 20 ft.

El curso de diferencias entre A-340-600 y A-340-300 consistía en un día de sesión teórica y al menos dos tomas en el -600. El curso subrayaba, además de las restantes diferencias, especialmente las diferencias en cuanto a geometría y posibilidad de golpear la pista con la cola.

El operador no tenía instrucciones para que se desconecte el CVR después de un suceso investigable en su Manual de Operaciones. Sí había instrucciones para el personal de mantenimiento para desconectar el CVR tras un suceso.

1.8. Sucesos similares ocurridos con anterioridad

Se tuvo noticia de otros dos sucesos que habían implicado a A-340-600 en aterrizajes con viento cruzado y que habían resultado en reventones de neumáticos en la toma de tierra:

- Aterrizaje en el Aeropuerto de Heathrow el 25 de febrero de 2006. El informe final del suceso² indica que cuando el piloto desconectó el piloto automático a 275 ft de altura, encontró cada vez más difícil el mantener el avión alineado con la prolongación del eje de la pista en las difíciles condiciones de viento que se presentaban. Para poder permanecer en la pista el ángulo de deriva se incrementó a más de 10°, lo que resultó en el reventón de dos neumáticos y daños menores al tren y flaps.
- Aterrizaje en el Aeropuerto de Melbourne el 26 de octubre de 2005. El informe final del suceso³ indica que el avión tomó tierra con 15° de ángulo de deriva a la derecha, y con 5° de alabeo en la dirección ala derecha abajo, lo que resultó en el reventón del neumático de la rueda número 1. Se produjo una situación de «dual input» al comandar ambos pilotos órdenes de control a la vez con sus palancas de control.

1.9. Fuerzas laterales producidas por el contacto de los neumáticos con la pista durante la toma de tierra

El siguiente análisis tiene relevancia en la medida que, dada la desalineación que llevaba la trayectoria del avión respecto a la pista, se requería una gran fuerza lateral hacia la izquierda en la toma para que pudiera corregir la trayectoria, evitando así que el avión se saliera de la pista tras el contacto con su superficie.

Si el avión no hubiese tocado tierra con un cierto ángulo de crab es posible que no se hubiese generado la aceleración lateral de $-0,561$ g (lo que era bueno para no reventar los neumáticos), pero por el contrario, es posible que no hubiese habido fuerza lateral suficiente para cambiar su trayectoria.

En una toma con un ángulo de deriva («crab») α , el movimiento de la rueda, de A hasta C (véase figura 17), se puede descomponer en una rodadura libre de A hasta B y un desplazamiento o derrape de B a C en sentido perpendicular al plano de giro de la rueda.

Por la fricción en ese desplazamiento de B a C, aparece una fuerza perpendicular al plano de la rueda que se opone a ese desplazamiento. En ocasiones a esta fuerza se le llama «cornering». Sin embargo, en determinados documentos de Airbus⁴ se llama fuerza «cornering» al componente F_d del dibujo y se llama fuerza de frenada al componente F_t .

El desplazamiento AC es mayor que la rodadura AB. En este caso también hay un deslizamiento y se define un «slip rate» igual a la razón de $(AC-AB) / AC$ que, como se puede ver, vale $(1 - \cos(\alpha))$.

² Informe EW/C2006/02/04 del AAIB del Reino Unido.

³ Aviation Occurrence Report 200505311 del ATSB de Australia.

⁴ Flight Operations Briefing Notes. Landing Techniques. Crosswind Landings (Ref. FLT_OPS-LAND-SEQ 05- REV 02-APR. 2006).

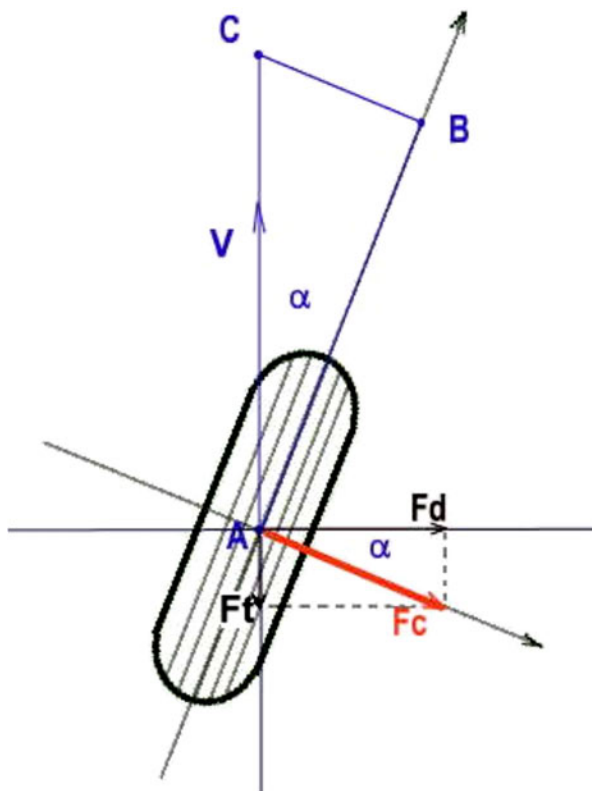


Figura 17. Esquema de fuerzas

El efecto «cornering» es máximo para valores de relación rodadura-deslizamiento («slip rate») del orden de 0,15. Entonces $\cos(\alpha) = 0,85$ y α es del orden de los 30° .

El efecto «cornering» proporciona fuerzas directoras (componente perpendicular al desplazamiento de la rueda) y fuerzas retardadoras F_t de frenado en la dirección y sentido opuesto al movimiento.

Si se trata de maximizar la fuerza directora, $F_d = F_c \cdot \cos(\alpha)$, del efecto «cornering» se debe encontrar, mediante tanteos, cual es el ángulo de orientación de la rueda que maximiza el producto $F_c \cdot \cos(\alpha)$. Para valores crecientes desde 0° a unos 30° , crece F_c , mientras que el coseno decrece al aumentar α . El valor máximo de F_d se obtiene experimentalmente teniendo en cuenta las características concretas de cada caso.

En definitiva, durante el incidente el ángulo de deriva de unos 10° por un lado fue suficiente para imprimir al avión una aceleración lateral de $-0,561$ g que modificó su trayectoria, pero por otro lado sometió al propio neumático a cargas laterales elevadas.

1.10. Acciones preventivas

1.10.1. Operador

El operador suspendió la operación del A-340-600 al Aeropuerto de Quito en noviembre 2007, tras un accidente ocurrido a otro avión en ese aeropuerto. Una vez definidas las maniobras de aproximación a las dos pistas, de manera que se garantizaba que los aviones estaban convenientemente estabilizados con antelación suficiente para la toma, adoptó un nuevo procedimiento de aproximación de precisión a la pista 35 y optó por proceder directamente al aeropuerto alternativo en el caso de estar en servicio la pista 17.

Dada la magnitud de la flota del operador, se daba la circunstancia de que los pilotos volaban a Quito de manera muy espaciada en el tiempo, por lo que el operador ha definido un grupo de comandantes para que volaran allí con más asiduidad.

El operador dispone actualmente de un simulador de vuelo de A-340-600 para entrenamiento de sus tripulaciones.

1.10.2. *Fabricante de la aeronave*

En el momento del incidente, el fabricante tenía varios documentos y publicaciones divulgativas en vigor que cubrían los temas de tomas duras y aterrizajes con viento cruzado en el A-340-600. Se estaban produciendo más tomas duras en el -600 (11 trenes de aterrizaje desmontados a consecuencia de ello) que en el -300, al ser el primero más largo y pesado que el segundo. Según Airbus, la información de seguridad más relevante se había incorporado al «Flight crew training manual» (FCTM) en abril de 2007.

Tras el incidente, en Septiembre de 2007, el fabricante proporcionó una sesión informativa al operador recordando diversos aspectos para prevenir estas situaciones. La presentación incluía el análisis de datos de aterrizajes reales proporcionados por varios operadores de flotas A-340-300 y A-340-600. Algunos aspectos de la presentación eran:

- Proporción más elevada de tomas duras en el A-340-600 con respecto al A-340-300.
- Proporción relativamente más elevada de tomas duras en los aeropuertos de Quito y San José (debido a su dificultad intrínseca por factores locales).
- Constatación de que la mayoría de las rotaciones finales en A-340-600 se hacían dejando mucho margen hasta el golpe con cola en la pista.
- Propuestas de mejora en el entrenamiento.
- Recordatorio de las recomendaciones habituales de:
 - Evitar la desestabilización de la trayectoria por debajo de 200 ft.
 - El régimen de descenso debe estar controlado antes del inicio de la rotación final (es decir, una pendiente de alrededor de 3° y el régimen sin aumentar).
 - Iniciar la rotación con presión firme hacia atrás de la palanca y manteniéndola según se requiera.
 - Evitar mover la palanca hacia delante una vez iniciada la rotación (aflojar la presión hacia atrás de la palanca es aceptable).

En octubre de 2007 Airbus emitió otro documento divulgativo para presentar los resultados de las tomas duras en la flota A-340 (como se ha indicado arriba, 11 cambios de tren en el serie -600 frente a 16 en el serie -300, teniendo la flota de este último 27 veces más aterrizajes que el primero).

Las medidas en marcha para paliar en lo posible la situación, además de las recomendaciones operacionales y de entrenamiento, eran la introducción de un nuevo aviso automático de 70-60 ft durante la aproximación, ya incorporado por muchos operadores (el EC-JFX lo llevaba implementado, véase apartado 1.3), mejora de la lógica del «load report 15» emitido por la «Data Management Unit» (DMU) y modificación del «lower articulation link» del tren principal de aterrizaje, las cuales también habían sido ya implementadas por la mayoría de los operadores.

2. ANÁLISIS

2.1. General

El análisis de la información disponible indica que el vuelo se desarrolló de forma normal hasta pocos momentos antes del contacto con la pista.

Se considera que los avisos «B ENG2 PMP» y «B HYD RSVR» que aparecieron durante la aproximación no tuvieron influencia técnica en el suceso. Los frenos y las reversas de empuje funcionaron correctamente.

La tripulación no reportó mal funcionamiento de ningún sistema del avión.

El hecho de que estuviera en servicio la pista 17, y no la 35 en la que se realizaba la aproximación principal VOR-ILS según las instrucciones del operador, obligaba a realizar una maniobra de aproximación en circuito.

La realización de esta maniobra está sujeta a ciertas restricciones debido a la orografía de la zona del aeropuerto. La existencia de una montaña en la prolongación del tramo de viento en cola (véase figura 1) impide prolongar en exceso ese tramo. No se tienen evidencias de que el operador tuviera definida esa maniobra en detalle.

En este caso, el tramo de viento en cola se hizo con una separación escasa de la pista y se realizó un viraje continuo desde el tramo de viento en cola hasta final, sin definir el tramo base, que dejó el avión bastante bien alineado con la pista y a una altura de 500 ft de radioaltímetro. Sin embargo, el punto en el que se inició el viraje hizo que sólo quedaran unos 27 s (aproximadamente 1 NM de distancia, véase Apéndice A) hasta la toma de tierra. Es discutible si pudo haberse prolongado más el tramo de viento en cola sin entrar en conflicto con el terreno ascendente de la montaña.

La tripulación había seleccionado frenada automática en Modo 2 («Low») lo cual hacía que quedase un margen de aproximadamente el 20% de la distancia de pista disponible para el aterrizaje respecto a la necesaria. Si se hubiese seleccionado frenada en modos 3 o 4, lo que es más habitual para aeropuertos a esa altitud, hubiese quedado más margen teórico de pista (entre el 30% y el 42%, respectivamente) y probablemente la presión de la tripulación para tocar lo más cerca del umbral posible hubiera sido menor.

Pese al poco tiempo hasta la toma, el avión realizó una aproximación razonablemente estabilizada en senda de descenso y velocidad (alrededor de 150 kt de velocidad calibrada) con la adecuada corrección del viento cruzado, que era aproximadamente de unos 10 kt cruzado de la izquierda.

La velocidad de descenso era elevada debido a la alta velocidad respecto al terreno (GS). Cuando la aeronave se encontraba a 400 ft de altura sobre el umbral de la pista, la

velocidad de descenso calculada era de unos 1.500 ft/min, por encima de los 1.200 ft/min establecidos por el operador, y de unos 1.000 ft/min al iniciarse la rotación final (o «flare»).

La componente de viento en cara fue elevada al principio y muy pequeña al llegar al suelo. La componente de viento cruzado en el entorno de 10 kt que había al principio de la aproximación también casi desapareció cuando el avión estaba muy cerca del suelo.

Por tanto, la tripulación se encontró sucesivos cambios que se produjeron en la componente de viento cruzado durante los últimos 20 segundos previos a la toma. En esas condiciones, era difícil conseguir la adecuada alineación de la trayectoria con la pista, máxime teniendo en cuenta la longitud de pista disponible, la elevada velocidad respecto al terreno y otros factores que complican la operación en Quito. La indicación del FCTM de Airbus de que no se superen 5° de alabeo ni de guiñada en las correcciones por viento cruzado en el momento de la toma son difíciles de cumplir en la práctica, ya que el piloto no tiene referencias para medir con exactitud esos ángulos y mucho menos en momentos de elevada carga de trabajo.

Estos cambios de viento a muy baja altura probablemente contribuyeron a que la tripulación no consiguiera estabilizar la aeronave en cuanto a régimen de descenso y ángulo de cabeceo, y también impidieron que la trayectoria horizontal pudiese corregirse adecuadamente para que quedara alineada con el eje de la pista. Pese a que el METAR de las 21:00 h del aeropuerto preveía ráfagas de 19 kt, el control de tráfico aéreo sólo dio viento de 140° y 8 kt, sin ráfagas, a las 21:04 h. Se puede observar en el apartado 1.4 que a las 21:07 se emitió un METAR especial con viento 100° y 7 kt, por lo que es posible que en esos momentos de la aproximación final del avión se estuviese produciendo una notable variación de las condiciones de viento reinante.

Hubiera sido necesario aplicar mando de alabeo a la izquierda con suficiente antelación antes de la toma de tierra lo cual, a baja altura, podía acarrear otros riesgos. El rumbo del avión ya estaba desviado a la izquierda y sin embargo su centro de gravedad seguía desplazándose hacia la derecha. En esas condiciones, una aplicación de pedal derecho para alinear el fuselaje con el eje de pista a demasiada altura podría haber agravado el riesgo de que el avión se saliese por la derecha de la pista. La aplicación final de pedal no fue suficiente para enderezar el fuselaje a tiempo y las ruedas sufrieron una elevada carga lateral que fue transmitida a través del amortiguador al resto de la estructura.

El hecho de que la aeronave no estuviera estabilizada durante la aproximación, con una velocidad de descenso excesiva y siendo necesarias fuertes correcciones en guiñada y alabeo para mantener la trayectoria horizontal requerida, probablemente también provocó una elevada carga vertical en la toma. La rotación final fue normal en comparación con datos de otras rotaciones proporcionados por Airbus, aunque existe la percepción de que se debe ser muy cuidadoso en el A-340-600 para evitar golpear la pista con la cola y ello hace que por lo general las rotaciones sean menores que las que se aplican en el A-340-300.

La opción más segura hubiera sido realizar un motor y al aire durante el tramo final de la aproximación, lo cual se podía realizar incluso a alturas muy bajas sin tocar la superficie de la pista (véase tabla de pérdida de altitud, aunque está referida a vuelo automático, del apartado 1.3.1).

Pese a todo, tras los reventones de neumáticos, la tripulación pudo mantener en control direccional en la carrera de aterrizaje y detener el avión en la pista, minimizando así los daños del incidente. Tras cerciorarse del estado de la aeronave con la ayuda de la torre y de los bomberos que acudieron rápidamente al lugar, se tomó la acertada decisión de realizar un desembarque de los pasajeros usando escaleras.

La tripulación no reportó que notase nada anormal durante la aproximación. Debido a que el registrador de voz en cabina se regrabó, no pudo evaluarse la gestión de recursos en cabina o los posibles avisos estándar que se produjeron para ayudar al piloto a los mandos. Pese a que el operador había establecido procedimientos para que el personal de mantenimiento desconecte el CVR tras un incidente (Norma MK-NT01 QR25, de 24 de mayo de 2006, apartado 5.4), en este caso no se tomaron las medidas oportunas, de acuerdo a lo establecido en el Anexo 6 de OACI (6.3.11.2).

2.2. Resistencia de los neumáticos

Las altas cargas laterales sobre los neumáticos en la toma de tierra, coincidieron simultáneamente, con las cargas verticales de un aterrizaje algo más duro de lo normal y con cargas de inercia y centrífugas fuertes debidas a la alta velocidad respecto al suelo, por causa de la gran elevación del aeropuerto de Quito, aunque no se superó el límite de velocidad del neumático de 204 kt.

La combinación de ambas cargas, lateral y vertical, aunque estaba dentro de la envolvente certificada de la aeronave, superaba los límites de resistencia de los neumáticos, lo que provocó la rotura de los de las ruedas 8, 10 y 4 durante el contacto con la pista y los primeros momentos de la carrera de aterrizaje.

En ese sentido, se tienen los precedentes de dos sucesos similares el Londres y Melbourne en los cuales se produjeron reventones de neumáticos con combinaciones de cargas inferiores a las que encontró el EC-JFX según la siguiente tabla:

| | Lateral | Vertical |
|-----------|---------|----------|
| Quito | -0,56 g | 2,08 g |
| Heathrow | -0,37 g | 1,75 g |
| Melbourne | 0,4 g | 1,7 g |

Se requirió al fabricante de la aeronave información sobre la resistencia del neumático en cuanto a combinación de cargas laterales y verticales. La respuesta fue que las condiciones de la toma en Quito superaban las especificaciones ensayadas durante la calificación del neumático (véase figura 3).

De acuerdo a los datos de calificación, es posible que con menor velocidad de descenso en el contacto con la pista los neumáticos hubieran resistido pese a llevar una deriva de unos 10°.

Por tanto, no se encontró base suficiente para emitir ninguna recomendación relativa a la resistencia del neumático.

2.3. Acciones preventivas

2.3.1. Operador

En el apartado 1.10.1 se explican las acciones realizadas por el operador, en relación con la operación del A-340-600 en el Aeropuerto de Quito, la selección de Comandantes para dicha operación y la disponibilidad de un simulador de vuelo de A-340-600 para la formación de sus tripulaciones. Se considera que son adecuadas y, por lo tanto, no se considera procedente emitir recomendaciones de seguridad al respecto.

2.3.2. Fabricante de la aeronave

El fabricante había publicado diversa documentación referente a tomas duras en general, y a aterrizajes con viento cruzado en particular, antes de que ocurriese este incidente. Sin embargo, la dispersión de esa información en diversos documentos de aplicación a la formación o a la operación de la aeronave disminuía su efectividad, en opinión del operador. En concreto, el límite de 5° como máximo ángulo de deriva con el que se puede tomar, se encontraba en el manual de entrenamiento de las tripulaciones (FCTM) y no en el manual de operaciones.

La revisión de los manuales de otras aeronaves no ha detectado que incluyan esta información en el apartado de limitaciones del Manual de Operaciones.

3. CONCLUSIÓN

No se encontraron evidencias de defectos previos en los neumáticos de la aeronave, malfunciones en los sistemas de la misma, ni tampoco de presencia de objetos extraños en la superficie de la pista.

Se considera que la causa probable del suceso fue la realización de la toma de tierra con un elevado ángulo de deriva respecto al eje de la pista combinado con un elevado régimen de descenso, como consecuencia de haberse realizado una aproximación no estabilizada, con una velocidad de descenso excesiva y siendo necesarias fuertes correcciones en guiñada y alabeo para mantener la trayectoria horizontal requerida.

El tramo de viento en cola del circuito de aproximación visual se hizo con una separación escasa de la pista y se realizó un viraje continuo desde el tramo de viento en cola hasta el tramo final de esta, lo que dejó un escaso margen para estabilizar la aeronave antes de la toma.

Los sucesivos cambios que se produjeron en la componente de viento cruzado cuando la aeronave se encontraba cerca del suelo contribuyeron a que la tripulación no consiguiera estabilizarla durante la aproximación final.

APÉNDICE A

Detalle de la trayectoria final

