Informe técnico
A-037/2021

Accidente ocurrido el día 31 de julio de 2021 a la aeronave Boeing 737-8AS, matrícula EI-EPC, en la aproximación al aeropuerto de Barcelona

El presente informe no constituye la edición en formato imprenta, por lo que puntualmente podrá incluir errores de menor entidad y tipográficos, aunque no en su contenido. Una vez que se disponga del informe maquetado y del Número de Identificación de las Publicaciones Oficiales (NIPO), se procederá a la sustitución del avance del informe final por el informe maquetado.

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SUBSECRETARÍA
COMISIÓN DE INVESTIGACIÓN DE ACCIDENTES E INCIDENTES DE AVIACIÓN CIVIL

Advertencia

El presente informe es un documento técnico que refleja el punto de vista de la Comisión de Investigación de Accidentes e Incidentes de Aviación Civil en relación con las circunstancias en que se produjo el evento objeto de la investigación, con sus causas probables y con sus consecuencias.

De conformidad con lo señalado en el art. 5.4.1 del Anexo 13 al Convenio de Aviación Civil Internacional; y según lo dispuesto en los arts. 5.6 del Reglamento (UE) nº 996/2010, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de octubre de 2010; el art.15 de la Ley 21/2003, de Seguridad Aérea; y los arts. 1 y 21.2 del R.D. 389/1998, esta investigación tiene carácter exclusivamente técnico y se realiza con la finalidad de prevenir futuros accidentes e incidentes de aviación mediante la formulación, si procede, de recomendaciones que eviten su repetición. No se dirige a la determinación ni al establecimiento de culpa o responsabilidad alguna, ni prejuzga la decisión que se pueda tomar en el ámbito judicial. Por consiguiente, y de acuerdo con las normas señaladas anteriormente la investigación ha sido efectuada a través de procedimientos que no necesariamente se someten a las garantías y derechos por los que deben regirse las pruebas en un proceso judicial.

Consecuentemente, el uso que se haga de este informe para cualquier propósito distinto al de la prevención de futuros accidentes puede derivar en conclusiones e interpretaciones erróneas.

INDICE

Advertencia ii
INDICE iii
ABREVIATURAS iv
Sinopsis vi
1. INFORMACION SOBRE LOS HECHOS 8
1.1. Reseña del accidente 8
1.2. Lesiones a personas 13
1.3. Daños sufridos por la aeronave 13
1.4. Otros daños 13
1.5. Información sobre el personal 13
1.6. Información sobre la aeronave 14
1.7. Información meteorológica 14
1.8. Ayudas para la navegación 16
1.9. Comunicaciones 17
1.10. Información de aeródromo 17
1.11. Registradores de vuelo 17
1.12. Información sobre los restos de la aeronave 21
1.13. Información médica y patológica 22
1.14. Incendio 22
1.15. Aspectos relativos a la supervivencia 22
1.16. Ensayos e investigaciones 23
1.17. Información organizativa y de dirección 23
1.18. Información adicional 24
1.19. Técnicas de investigación especiales 26
2. ANALISIS 27
2.1 Análisis de los aspectos meteorológicos relacionados con el accidente 27
2.2 Análisis de la coordinación entre la tripulación de vuelo y la tripulación de cabina en relación a la turbulencia. 28
2.3 Análisis de la actuación de la tripulación de vuelo 28
3. CONCLUSIONES 29
3.1. Constataciones 29
3.2. Causas/factores contribuyentes 30
4. RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD OPERACIONAL 30
ANEXO I: 737 FLIGHT CREW OPERATIONS MANUAL. TURBULENCE 31
ANEXO II: 737 FLIGHT CREW TRAINING MANUAL. OVERSPEED 34
ANEXO III: DATOS DEL VUELO 35

ABREVIATURAS

° ‘ “	Grado(s), minuto(s) y segundo(s) sexagesimal(es)
°C	Grado(s) centígrado(s)
AEMET	Agencia Estatal de Meteorología
AFDS	Director de vuelo del piloto automático
ARM	Armado
ASR	Notificación de la seguridad operacional de la aviación
ATC	Control de tránsito aéreo (en general)
ATIS	Servicio automático de información terminal
ATPL	Licencia de piloto de transporte de línea aérea
CAS	Velocidad aerodinámica calibrada
CMR	Gestión de recursos de la tripulación
CPL	Licencia de piloto comercial
CVR	Grabador de Voces en Cabina
E	Este
FCOM	Manual de operaciones de la tripulación de vuelo
FCTM	Manual de entrenamiento de la tripulación de vuelo
FL	Nivel de vuelo
ft	Pie(s)
g	Aceleración normal
GMFF	Código OACI del aeropuerto de Fez
h	Hora(s)
hPa	Hectopascal(es)
IF	Punto de referencia de aproximación intermedia
IFR	Reglas de vuelo instrumental
ILS	Sistema de aterrizaje por instrumentos
kg	Kilogramo(s)
km	Kilómetro(s)
kt	Nudo(s)
L	Izquierda
LEBL	Código OACI del aeropuerto de Josep Tarradellas Barcelona-EL Prat
LNAV	Navegación lateral
m	Metros
MCP	Panel de Control de Modos
n.º	Número
N	Norte
NM	Millas náuticas
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
PA	Comunicaciones al público
PF	Piloto a los mandos
PFD	Pantalla principal de vuelo

PM	Piloto que monitoriza
QAR	Registrador de acceso rápido
QNH	Reglaje de la subescala del altímetro para obtener la altitud estando en tierra (reglaje de precisión para indicar la altitud por encima del nivel medio del mar)
R	Derecha
RW	Pista de vuelo
SAT	Temperatura estática del aire
SEP	Procedimientos de Emergencia
SIGMET	Información relativa a condiciones meteorológicas en ruta que puedan afectar la seguridad de las operaciones de las aeronaves
SPD	Modo velocidad
STAR	Carta de llegada normalizada de vuelo por instrumentos
TAF	Pronóstico de aeródromo
TCP	Tripulante de cabina de pasajeros
UTC	Tiempo Universal Coordinado
VMC	Condiciones meteorológicas de vuelo visual
V_{MO}	Velocidad máxima de operación
W	Oeste

Informe técnico

A-037/2021

Propietario	Ryanair Designated Activity Company
Operador:	Ryanair Designated Activity Company
Aeronave:	Boeing 737-8AS, matrícula EI-EPC (Irlanda)
Fecha y hora del accidente:	31 de julio de 2021, 14:00 h[1]
Lugar del accidente:	Aproximación al aeropuerto de Barcelona
Personas a bordo:	6 (tripulación), 172 (pasajeros)
Tipo de vuelo:	Transporte aéreo comercial – Regular – Pasajeros
Fase de vuelo:	En ruta – Descenso normal
Tipo de operación:	**I**FR
Fecha de aprobación:	**30 de marzo 2022**

Sinopsis

Resumen:

El sábado 31 de julio de 2021, la aeronave Boeing 737-8AS, matrícula EI-EPC, procedente del aeropuerto de Fez (GMFF) en Marruecos, se aproximaba al aeropuerto de Josep Tarradellas Barcelona-El Prat (LEBL) siguiendo la llegada normalizada por instrumentos (STAR) MATEX 2E para aterrizar por la pista 07L.

Durante el descenso, la tripulación de vuelo observó en el radar meteorológico la presencia de cumulonimbus y requirió a ATC desviarse de la trayectoria estándar para tratar de evitarlos. A continuación, el comandante informó a la tripulación de cabina de la posibilidad de experimentar turbulencia durante la aproximación y les solicitó que procediesen a asegurar la cabina de pasajeros.

La aeronave continuó el descenso y entró en una zona de turbulencia no detectada que duró unos 2 minutos en la cual la velocidad se incrementó hasta aproximarse a la velocidad máxima de operación (V_{MO}). A fin de reducir la velocidad, el PF actuó desconectando el piloto automático y tirando de la columna de control, registrándose en ese momento una aceleración vertical de +3,09 g. Un segundo después actuó sobre la columna de control en sentido contrario, bajando el morro del avión y registrándose una aceleración vertical de -0,18 g.

Los miembros de la tripulación de cabina estaban de pie, comenzando las tareas para asegurar la cabina de pasajeros y se golpearon contra distintas partes de la misma, cayendo al suelo sin tiempo para poder sentarse o sujetarse. Una vez fuera de la zona

[1] La referencia horaria utilizada en este informe es la hora local. La hora UTC son 2 horas menos.

de turbulencia uno de los miembros de la tripulación de cabina contactó con la tripulación de vuelo para solicitar una ambulancia al llegar al aeropuerto ya que dos de sus compañeros estaban incapacitados.

Al aterrizar en el aeropuerto de Barcelona, fueron atendidos por el servicio médico del aeropuerto. Además de los tripulantes de cabina lesionados, había un pasajero con heridas en la cabeza. Todos ellos fueron trasladados al hospital.

La investigación ha concluido como causa probable de este accidente el conjunto de acciones realizadas por el piloto a los mandos (PF) para evitar que se excediera la velocidad de operación máxima permisible (V_{MO}) mientras la aeronave volaba en un área de turbulencia, a consecuencia de las cuales se produjeron aceleraciones verticales que provocaron lesiones a un pasajero y a dos tripulantes de cabina de pasajeros.

Tras la investigación de seguridad interna del accidente, el operador reforzó el entrenamiento de la tripulación de vuelo en materia de turbulencia y sobre-velocidad. Adicionalmente, entre otras medidas, propuso divulgar, a través de sus publicaciones de seguridad operacional, las lecciones aprendidas en el suceso e incluirlo como caso de estudio en el entrenamiento de las tripulaciones. Todas ellas se consideran medidas acertadas y no se proponen recomendaciones de seguridad.

1. INFORMACION SOBRE LOS HECHOS

1.1. Reseña del accidente

El sábado 31 de julio de 2021 la aeronave Boeing 737-8AS, matrícula EI-EPC, realizaba un vuelo desde el aeropuerto de Fez (GMFF) en Marruecos al aeropuerto de Barcelona/Josep Tarradellas-El Prat (LEBL) con 178 personas a bordo (2 pilotos, 4 tripulantes de cabina de pasajeros y 172 pasajeros).[2]

Del estudio de la información meteorológica proporcionada en el despacho de vuelos, la tripulación de vuelo concluyó que era probable encontrar turbulencia durante el descenso a Barcelona y así se lo transmitió a la tripulación de cabina.

La cabina de vuelo estaba ocupada por el comandante que actuaba como piloto a los mandos (PF), el copiloto que actuaba como piloto que monitoriza (PM) y un piloto del operador fuera de servicio, que realizaba el trayecto sentado en el asiento del observador.

El vuelo transcurrió con normalidad y tras 59 minutos de vuelo, a las 13:53:09 h, la aeronave comenzó el descenso hacia el aeropuerto de Barcelona. El piloto automático y el sistema de empuje automático estaban conectados.

La aeronave procedía al punto MATEX para seguir la llegada normalizada por instrumentos (STAR) MATEX 2E y aterrizar en la pista 07L.

[2] Era el tercer vuelo de los cuatro que tenía programada toda la tripulación ese día.

Ilustración 1: Extracto de la Carta de llegada normalizada por instrumentos a la pista RWY07/L/R de LEBL

El modo vertical del piloto automático era MCP SPD[3] y el sistema de empuje automático se encontraban en modo ARM[4]. La aeronave descendía a FL200, que había sido seleccionado en el selector de altitud del MCP[5].

Debido a que ATC había demorado el inicio del descenso de la aeronave, para cumplir con las restricciones de altitud de la STAR, la tripulación de vuelo había aumentado progresivamente la velocidad seleccionada en el MCP, a la vez que mantenía el empuje al ralentí, incrementando así el régimen de descenso.

El descenso se realizaba en condiciones de viento en cola, cuya intensidad en ese momento era de 70 kt.

Cuando descendían a través de FL280, en el tramo comprendido entre los puntos MATEX y BL028 de la STAR MATEX 2E, la tripulación de vuelo observó en el radar meteorológico la presencia de cumulonimbus y solicitó a ATC desviarse de la trayectoria estándar para

[3] En el modo MCP SPD el AFDS ordena configurar las posiciones de asiento necesarias para mantener la velocidad seleccionada en el MCP.

[4] En el modo ARM los servos del sistema de empuje automático o autothrottle, están inhibidos permitiendo al piloto mover las palancas de empuje manualmente. Es el modo que se activa a continuación del modo RETARD que indica que el autothrottle ordena empuje al ralentí.

[5] El MCP es el panel de control de modos a través del cual el piloto ordena acciones al piloto automático.

tratar de evitarlos. De este modo, a las 13:57:32 h modificaron su rumbo catorce grados a la izquierda, para volar en rumbo 065º.

A continuación, a las 13:58:03 h, aproximadamente 25 minutos antes de la hora estimada al aterrizaje, el comandante informó a la tripulación de cabina de la posibilidad de experimentar turbulencia durante la aproximación y les requirió que procediesen a asegurar la cabina de pasajeros.

Seguidamente, a las 13:59:18 h, ATC autorizó a la aeronave a descender a FL80 y si las condiciones de vuelo así se lo permitían, a proceder a ASTEK[6], lo cual fue aceptado por la tripulación de vuelo.

A las 13:59:24 h, el piloto a los mandos (PF) extendió los aerofrenos. La componente de viento en cola era de 58 kt.

A las 14:00:07 h, dos minutos después de la llamada del comandante a la tripulación de cabina, en descenso a través de FL180, la aeronave entró en un área de turbulencia. En ese momento la velocidad seleccionada por la tripulación de vuelo en el MCP era de 320 kt y la velocidad CAS de la aeronave de 325 kt. El N1 de los motores estaba al ralentí.

Durante los siguientes 29 segundos, la velocidad seleccionada en el MCP se redujo hasta los 308 kt. En este periodo la velocidad CAS de la aeronave varió entre 306 kt y 329 kt, registrando el valor de aceleración vertical fluctuaciones entre +0,50 g y +1,36 g con cambios que puntualmente alcanzaron hasta 0,7 g en un segundo[7].

A las 14:00:37 h en descenso a través de FL170, la velocidad CAS de la aeronave se incrementó súbitamente, pasando en un segundo de 322 kt a 334 kt.

El comandante explicó en su declaración que el vector de tendencia de velocidad (speed trend vector) del PFD comenzó a presentar grandes oscilaciones. Según su percepción el nivel de turbulencia llegó a ser severo. Relató que se encontraban en condiciones VMC

El comandante consideró que el piloto automático no era capaz de mantener la velocidad y decidió desconectar el mismo para evitar sobrepasar la velocidad máxima de operación (V_{MO}) que era de 340 kt. A las 14:00:38 h se desconectó el piloto automático y se registró un incremento en la fuerza ejercida sobre la columna de control de +48 libras.

Un segundo después, a las 14:00:39 h el ángulo de asiento se había incrementado desde los -1,8º hasta los +6,2º, alcanzando la aceleración vertical +3,09 g.

[6] ASTEK es el fijo de la aproximación intermedia (IF) de la aproximación ILS a la pista 07L. Se encuentra a 12 NM en final de la cabecera 07L.

[7] Los cambios en las indicaciones del acelerómetro de 0,5 g a 1,0 g en el centro de gravedad de la aeronave se corresponden con turbulencia moderada. Los cambios en las indicaciones del acelerómetro de 1,0 g o mayores en el centro de gravedad de la aeronave se corresponden con turbulencia severa.

Tras aplicar una fuerza en la columna de control en sentido contrario de -51 libras, a las 14:00:40 h, el ángulo de asiento se redujo hasta los -1,6º alcanzando la aceleración vertical -0,18 g.

Mientras tanto, los miembros de la tripulación de cabina habían comenzado los preparativos para asegurar la cabina de pasajeros y estaban en la parte trasera del avión. Habían pasado dos minutos y medio desde la llamada del comandante. El jefe de cabina, que estaba impartiendo el mensaje a los pasajeros advirtiendo de turbulencia, y otros dos TCP se encontraban en el galley trasero. El TCP restante estaba en la fila 29 atendiendo la llamada de un pasajero. Súbitamente todos ellos se golpearon contra distintas partes de la cabina y cayeron al suelo.

A las 14:00:41 h se registró la activación de la luz Master Caution AFT ENTRY DOOR[8]. El copiloto explicó que notó la activación de la misma.

Durante los siguientes 21 segundos, la aeronave se mantuvo prácticamente nivelada a FL170 y la fuerza ejercida sobre la columna de control varió entre +32 lb y -36 lb. Se registraron ángulos de asiento positivos y paralelamente la velocidad CAS comenzó a reducirse.

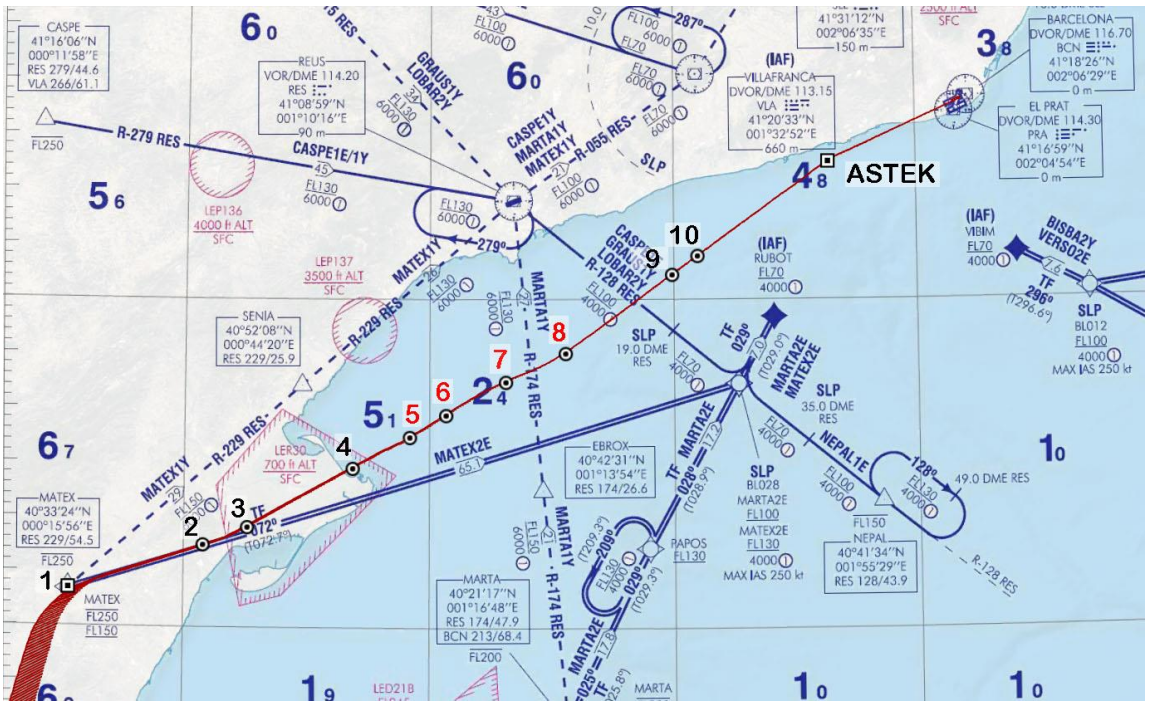
A las 14:01:00 h la velocidad CAS era de 283 kt y la aeronave retomó el descenso.

A las 14:01:30 h en descenso a través de 15.900 ft, se volvió a conectar el piloto automático.

A las 14:02:24 h la aeronave salió del área de turbulencia.

A las 14:03:53 h ATC autorizó a la aeronave a descender a 3.000 ft, a mantener 250 kt hasta ASTEK como número uno y al ILS Z a la pista 07L.

[8] Esta luz se encendió al golpear el TCP nº. 1 la puerta.



1	13:56:00	FL310	CAS 290 kt	La aeronave sobrevuela MATEX
2	13:57:32	FL270	CAS 305 kt	La aeronave comienza el desvío a rumbo 065º
3	13:58:03	FL250	CAS 314 kt	El comandante avisa a la tripulación de cabina de probable turbulencia durante la aproximación.
4	13:59:18 – 13:59:24	FL210	CAS 318 kt	ATC autoriza a la aeronave a proceder a ASTEK y se extienden los aerofrenos
5	14:00:07	FL180	CAS 325 kt	La aeronave entra en la zona de turbulencia
6	14:00:38	FL170	CAS 334 kt	Desconexión del piloto automático y aceleración vertical +3,09 g.
7	14:01:30	FL160	CAS 289 kt	Conexión del piloto automático
8	14:02:24	FL130	CAS 296 kt	La aeronave sale de la zona de turbulencia
9	14:04:21	FL90	CAS 276 kt	Llamada de la tripulación de cabina avisando de tripulantes incapacitados
10	14:04:53	FL80	CAS 259 kt	La tripulación de vuelo solicita a ATC una ambulancia a la llegada

Ilustración 2: Trayectoria durante el descenso

A las 14:04:21 h un TCP llamó a la cabina de vuelo para informar que dos miembros de la tripulación de cabina se habían lesionado y que necesitaban una ambulancia a la llegada.

A las 14:04:53 h la tripulación de vuelo solicitó a ATC la presencia de una ambulancia a la llegada a Barcelona.

Tras aterrizar en el aeropuerto de Barcelona/Josep Tarradellas-El Prat, fueron atendidos por el servicio médico del aeropuerto. Además de los tripulantes de cabina lesionados, había un pasajero con heridas en la cabeza. Todos ellos fueron trasladados al hospital.

1.2. Lesiones a personas

Lesiones	Tripulación	Pasajeros	Total en la aeronave	Otros
Mortales				
Lesionados graves	1	1	2	
Lesionados leves	1		1	
Ilesos	4	171	175	
TOTAL	6[9]	172	178	

1.3. Daños sufridos por la aeronave

La aeronave no sufrió daños.

1.4. Otros daños

No hubo otros daños.

1.5. Información sobre el personal

1.5.1. Información sobre el comandante

El comandante, de 29 años de edad, contaba con una licencia de piloto de transporte de línea aérea de avión (ATPL), emitida por primera vez el 29 de abril de 2019, con habilitación de tipo B737 300-900 y habilitación de vuelo instrumental válidas hasta el 30 de abril de 2022.

Disponía de certificado médico de Clase 1 válido hasta el 7 de junio de 2022.

Su experiencia total era de 4.041,77 h a fecha del 31 de julio de 2021.

Respecto a su formación, en particular, había recibido sobre:

- Recuperación de sobre-velocidad en crucero, el 15 de abril del 2021.
- Procedimientos al penetrar en una zona de turbulencia severa, recuperación de sobre-velocidad y concienciación del factor de carga g, el 10 de abril de 2019.
- Comunicación efectiva y coordinación dentro y fuera de la cabina de vuelo y con otro personal operacional y de servicios de tierra, el 13 de abril de 2019.

1.5.2. Información sobre el copiloto

El copiloto, de 26 años de edad, contaba con una licencia de piloto comercial (CPL), emitida por primera vez el 7 de marzo de 2018, con habilitación de tipo B737 300-900 y habilitación de vuelo instrumental válidas hasta el 31 de marzo de 2022.

[9] La tripulación estaba compuesta por dos tripulantes de cabina de vuelo y 4 tripulantes de cabina de pasajeros.

Disponía de certificado médico de Clase 1 válido hasta el 1 de diciembre de 2021.

Su experiencia total era de 1692,8 h a fecha del 31 de julio de 2021.

Respecto a su formación, en particular, había recibido sobre:

- Recuperación de sobre-velocidad en crucero, el 10 de abril del 2021.
- Recuperación de sobre-velocidad y concienciación del factor de carga g, el 23 de enero de 2019.
- Comunicación efectiva y coordinación dentro y fuera de la cabina de vuelo y con otro personal operacional y de servicios de tierra, el 1 de febrero de 2018.

1.6. Información sobre la aeronave

- Marca: Boeing
- Modelo: 737-8AS
- Año de fabricación: 2011
- Número de serie: 40312
- Matrícula: EI-EPC
- Masa máxima al despegue: 66990 Kg
- Número de motores: 2
- Tipo de motores: CFM56-7B26
- Información relativa al propietario y al explotador: La aeronave está registrada en el Registro de Matrículas irlandés a nombre de Ryanair Designated Activity Company desde el 23 de marzo de 2011.

La aeronave dispone del Certificado de Aeronavegabilidad y del Certificado de Revisión de la Aeronavegabilidad, válido hasta el 22 de marzo de 2022.

Tras el accidente, se realizó la inspección definida en el Manual de Mantenimiento de la Aeronave para turbulencia severa sin encontrar anomalías en la aeronave.

La velocidad máxima de operación (V_{MO}) de la aeronave es 340 kt.

1.7. Información meteorológica

1.7.1 Condiciones meteorológicas locales

El ATIS del aeropuerto de Barcelona a las 12:00 UTC del día del accidente fue:

> *31/07/2021 12:00:16 ATIS_ARRIVAL LEBL INFO ARR Y TIME 1200 ILS Z APCH EXPECTED RWY IN USE FOR ARR 07L AND FOR DEP 07R TRL 75 REMAIN ON TWR FREQ AFT LDG CTN RNAV APCH TRANSITIONS IN USE FM IAF CHECK FMS EXPECT*

1E APCH TRANSITIONS FOR RWY 07L WIND TDZ 140 DEG 6 KT VRB BTN 110 AND 180 DEG CAVOK T 25 DP 16 QNH 1010 NOSIG[10]

El TAF del aeropuerto de Barcelona emitido a las 11:00 UTC del día del accidente indicaba probabilidad de actividad tormentosa a partir de las 14:00 UTC:

TAF LEBL 311100Z 3112/0112 13010KT 9999 FEW020 TX29/3114Z TN20/0106Z PROB40 TEMPO 3114/3121 VRB20G35KT 3000 TSRA SCT020CB BECMG 3117/3120 34005KT PROB30 TEMPO 0100/0106 BKN014 BECMG 0110/0112 20010KT

El SIGMET número 4 emitido por la oficina de vigilancia meteorológica de Valencia fue:

LECB SIGMET 4 VALID 311100/311500 LEVALECB
BARCELONA FIR/UIR FRQ TSGR FCST WI N4008 W00026 – N41 E00005 – N4133 E00123 – N4058 E00155 – N3946 E00111 – N4008 W00026 TOP FL460 STNR NC

El mensaje SIGMET indicaba previsión de tormentas entre las 11:00 UTC y las 15:00 UTC en la zona delimitada por la línea poligonal roja (ver figura de la derecha) que comprendía la ruta de llegada y aproximación que realizó la aeronave

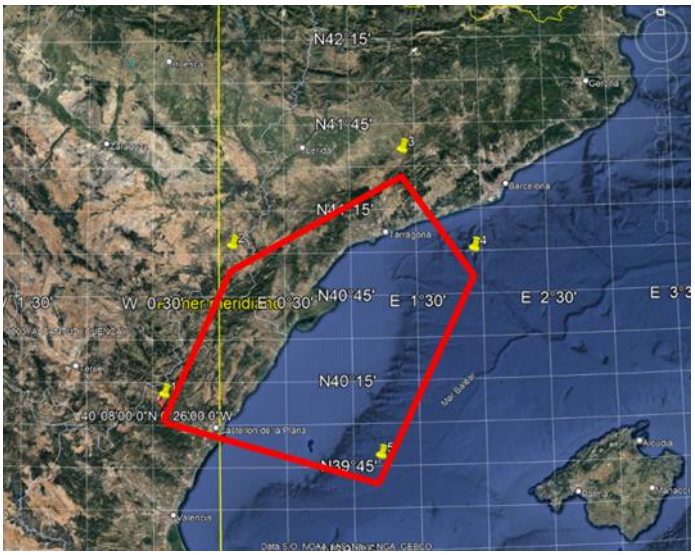


Ilustración 3: Zona con pronóstico tormentoso delimitada en el SIGMET

Por su parte AEMET facilitó a la investigación un informe meteorológico, en el que concluyó que el entorno meteorológico del 31 de julio de 2021 en la aproximación al aeropuerto de Barcelona a las 12:15 UTC, estaba caracterizado por la presencia de cizalladura que, a su vez, estaba originada por los frentes de racha de las formaciones tormentosas situadas en las inmediaciones del aeropuerto.

1.7.2 Información meteorológica extraída de los datos del QAR

Se han extraído del QAR los datos de temperatura exterior, velocidad e intensidad del viento, en el periodo en el que la aeronave atravesó el área de turbulencia.

[10] La pista en uso para aterrizaje era la 07L. El viento era de 6 nudos de intensidad y su dirección era 140º, variable entre 110º y 180º. Visibilidad mayor de 10 km, ausencia de nubes por debajo de la altura de referencia CAVOK y ausencia de cumulonimbus y cúmulos con forma de torre. La temperatura era de 25 ºC, el punto de rocío de 16 ºC y el QNH 1010 hPa.

Durante el mismo, se registraron cambios en la dirección e intensidad del viento y oscilaciones en el valor de la temperatura estática del aire (SAT). Estas variaciones se han representado en las siguientes gráficas:

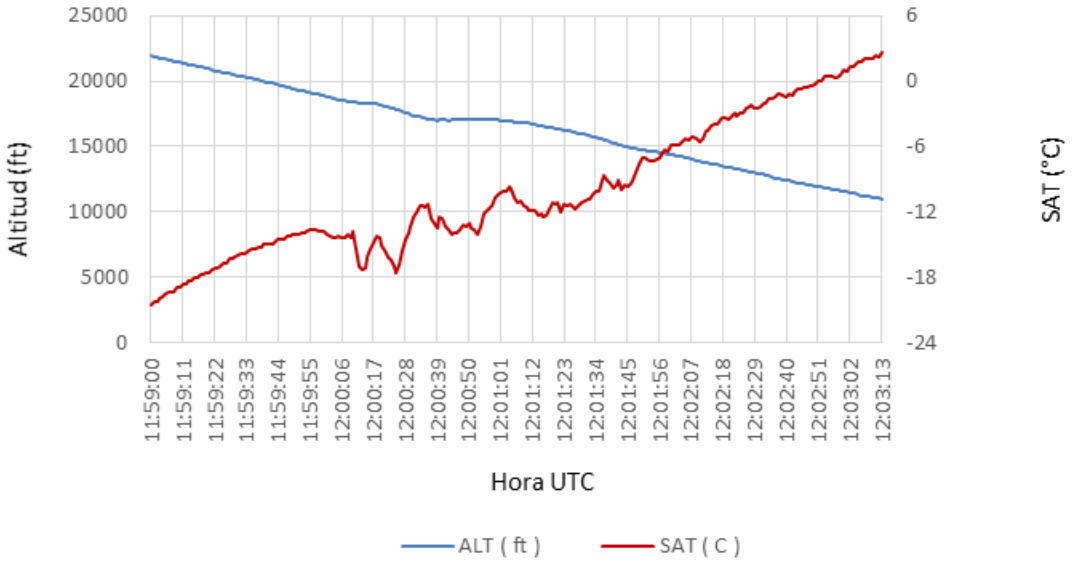


Ilustración 4: Gráfica que representa la variación de la SAT con la altitud en el área de turbulencia.

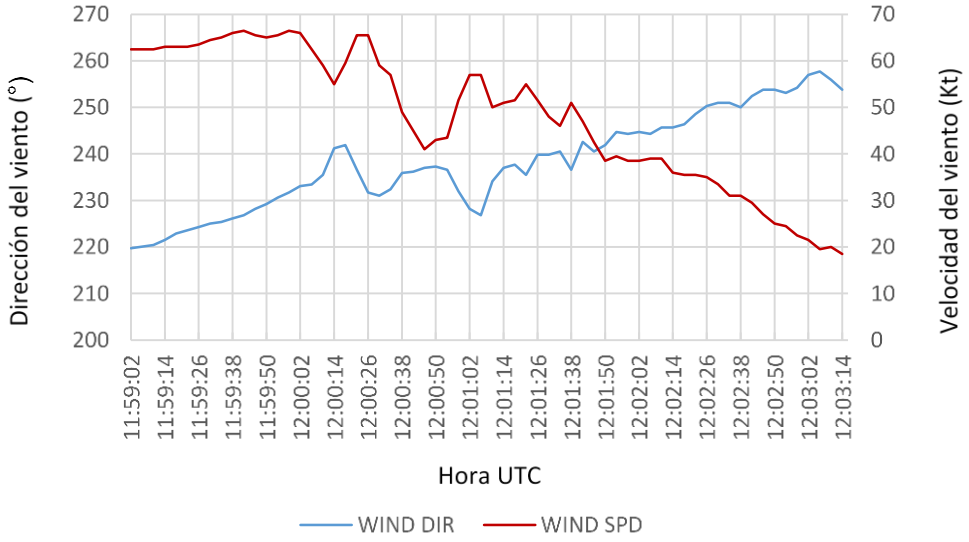


Ilustración 5: Gráfica que representa la variación de la dirección y velocidad del viento en el área de turbulencia.

1.8. Ayudas para la navegación

No aplicable.

1.9. Comunicaciones

Las comunicaciones más relevantes mantenidas entre la tripulación de vuelo y los controladores aéreos están integradas en el apartado 1.11. No hubo reportes de turbulencia ni de otras aeronaves ni por parte de las dependencias de control de tránsito aéreo, pero en la frecuencia se escucharon solicitudes de desvío por parte de las aeronaves para evitar nubes tormentosas.

1.10. Información de aeródromo

El aeropuerto Josep Tarradellas Barcelona-El Prat (con código OACI LEBL) se encuentra a 10 km al suroeste de la ciudad de Barcelona. Su elevación es de 4 m. Dispone de tres pistas: 02/20, 07L/25R y 07R/25L. Su punto de referencia tiene como coordenadas: 41º17'49" N, 002º04'42" E.

En el momento del accidente se estaba utilizando la configuración diurna no preferente; es decir, configuración Este, pistas paralelas. Con lo cual las llegadas se efectuaban por la pista 07L.

1.11. Registradores de vuelo

En este apartado se presenta integrada la información de los registradores de vuelo (CVR y QAR) junto con la de los servicios de tránsito aéreo, desde el momento en que la aeronave inició el descenso desde su nivel de crucero FL380 hasta el aterrizaje.

1.11.1 Descenso

A las 13:50:47 h, cuando la aeronave volaba a FL380, la tripulación de vuelo solicitó a ATC iniciar el descenso. ATC demoró el descenso de la aeronave hasta dos minutos después, cuando finalmente autorizó a la aeronave a descender a FL330 que fue seleccionado por la tripulación de vuelo en el selector de altitud del MCP. Con el piloto automático y el sistema de empuje automático conectados, la tripulación de vuelo realizó el descenso en los modos de ARM/LNAV/MCP SPD.[11]

Los pilotos seleccionaron en el selector de velocidad del MCP 240 kt/ Mach 0,76, que fueron incrementando a medida que descendían.

La tripulación de vuelo comentó la imposibilidad de cumplir con la restricción para sobrevolar el punto MATEX a FL250 o inferior debido a la autorización tardía de descenso.

El radar meteorológico estaba conectado.

[11] Las indicaciones de los modos de vuelo del AFDS se expresan de la siguiente forma: MODO DEL AUTOTHROTTLE/MODO LATERAL/MODO VERTICAL.

A las 13:53:51 h la aeronave fue autorizada a descender a FL310 que fue seleccionado por la tripulación de vuelo en el selector de altitud del MCP. Los pilotos continuaron aumentando la velocidad para incrementar el régimen de descenso.

A las 13:54:51 h la aeronave fue autorizada a descender a FL200 que fue seleccionado por la tripulación de vuelo en el selector de altitud del MCP. La velocidad seleccionada se había incrementado a 270 kt y la CAS era 268 kt. La componente de viento en cola era de 70 kt.

A las 13:56:00 h, la aeronave sobrevolaba el punto MATEX en descenso a través de FL310.

A las 13:57:10 h, la tripulación de vuelo solicitó rumbo 065° para evitar una formación nubosa, solicitud que fue aprobada por ATC.

A las 13:58:03 h, el comandante llamó a los TCP para explicarles que podrían encontrar turbulencia durante la aproximación y que comenzaran a preparar la cabina para el aterrizaje.

A las 13:58:54 h, en descenso a través de FL220 la aeronave fue autorizada a descender a FL150 que fue seleccionado por la tripulación de vuelo en el selector de altitud del MCP. La velocidad seleccionada se había incrementado a 320 kt y la CAS era 317kt.

A las 13:59:18 h, la aeronave fue autorizada a proceder a ASTEK si las condiciones de vuelo se lo permitían, lo cual fue aceptado por la tripulación de vuelo. La aeronave se encontraba a 64 NM de la toma.

A las 13:59:24 h se comienzan a desplegar los aerofrenos en descenso a través de FL200. La componente de viento en cola era de 58 kt.

A las 13:59:33 h la aeronave fue autorizada a descender a FL80 que fue seleccionado por la tripulación de vuelo en el selector de altitud del MCP.

1.11.2 Vuelo a través de la zona de turbulencia

A las 14:00:07 h, en descenso a través de FL180 la aeronave entra en un área de turbulencia que duró aproximadamente dos minutos hasta las 14:02:24 h. En ese momento la velocidad seleccionada eran 320 kt y la CAS 325 kt.

<u>Desde el comienzo de la turbulencia hasta la desconexión del piloto automático</u>

En los siguientes 29 segundos la velocidad seleccionada se redujo a 308 kt. En este periodo la velocidad CAS de la aeronave varió entre 306 kt y 329 kt, registrando el valor de aceleración vertical fluctuaciones entre +0,50 y +1,36 g con cambios que puntualmente alcanzaron hasta 0,7 g en un segundo.

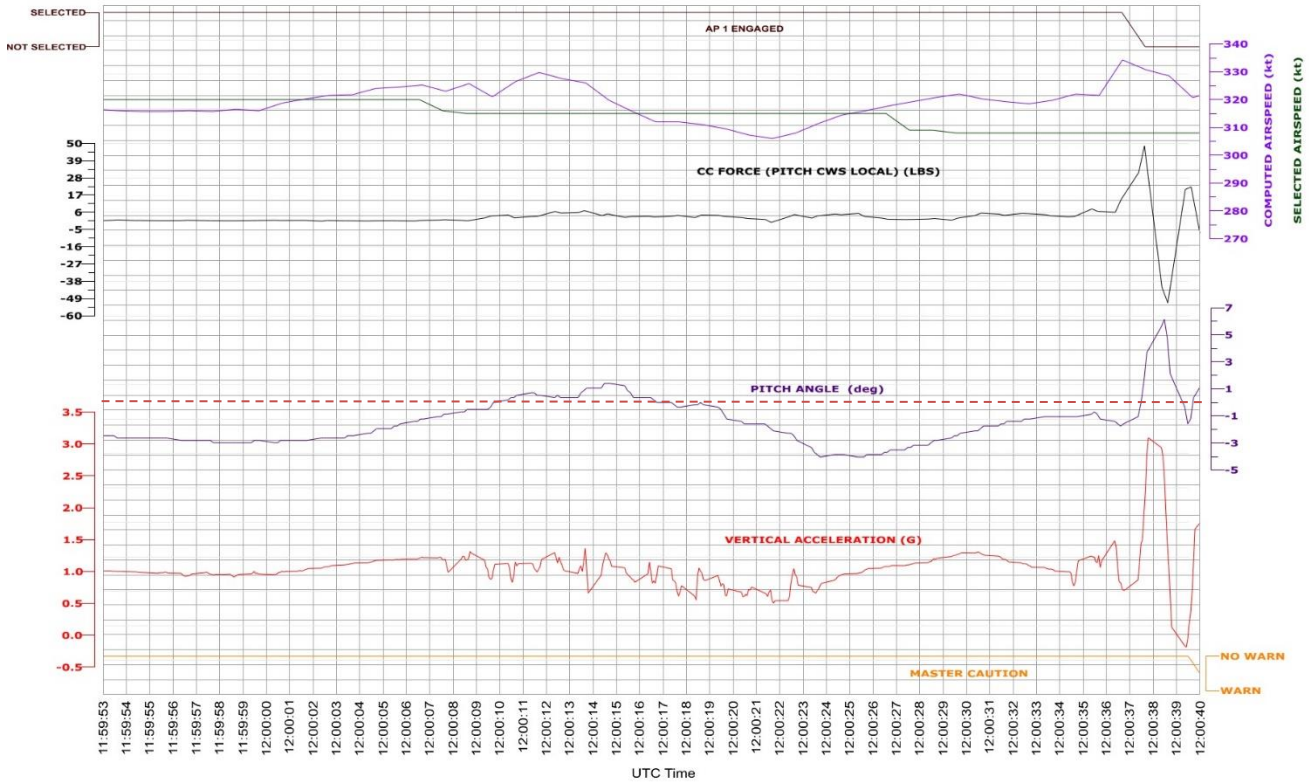


Ilustración 6: Parámetros del vuelo desde el comienzo de la turbulencia hasta la desconexión el piloto automático

A las 14:00:36 h, en descenso a través de FL170 la CAS era 322 kt y la velocidad seleccionada 308 kt.

Un segundo después a las 14:00:37 h, la CAS se incrementó a 334 kt. El ángulo de asiento era de -1,8º.

<u>Intervalo en el que el piloto automático estuvo desconectado</u>

A las 14:00:38 h, se registró la desconexión del piloto automático y la fuerza sobre la columna de control se incrementó hasta las +48 libras. La aceleración vertical se incrementó hasta los +3,09 g, que se correspondió con el máximo valor alcanzado en este periodo.

Un segundo después, a las 14:00:39 h, el ángulo de asiento era de +6,2º, la fuerza en la columna de control era de -51 libras y la velocidad CAS 328 kt. La aceleración vertical pasó a -0,18 g, que se correspondió con el mínimo alcanzado en este periodo.

A las 14:00:41 h, se registró la activación de la luz Master Caution.

Durante los siguientes 21 segundos, la aeronave se mantuvo prácticamente nivelada a FL170 y la fuerza ejercida sobre la columna de control varió entre +32 lbs y -36 lbs.

Se registraron ángulos de asiento positivos y paralelamente la velocidad CAS comenzó a reducirse. A las 14:01:00 h, la velocidad CAS de la aeronave era de 283 kt y la aeronave retomó el descenso.

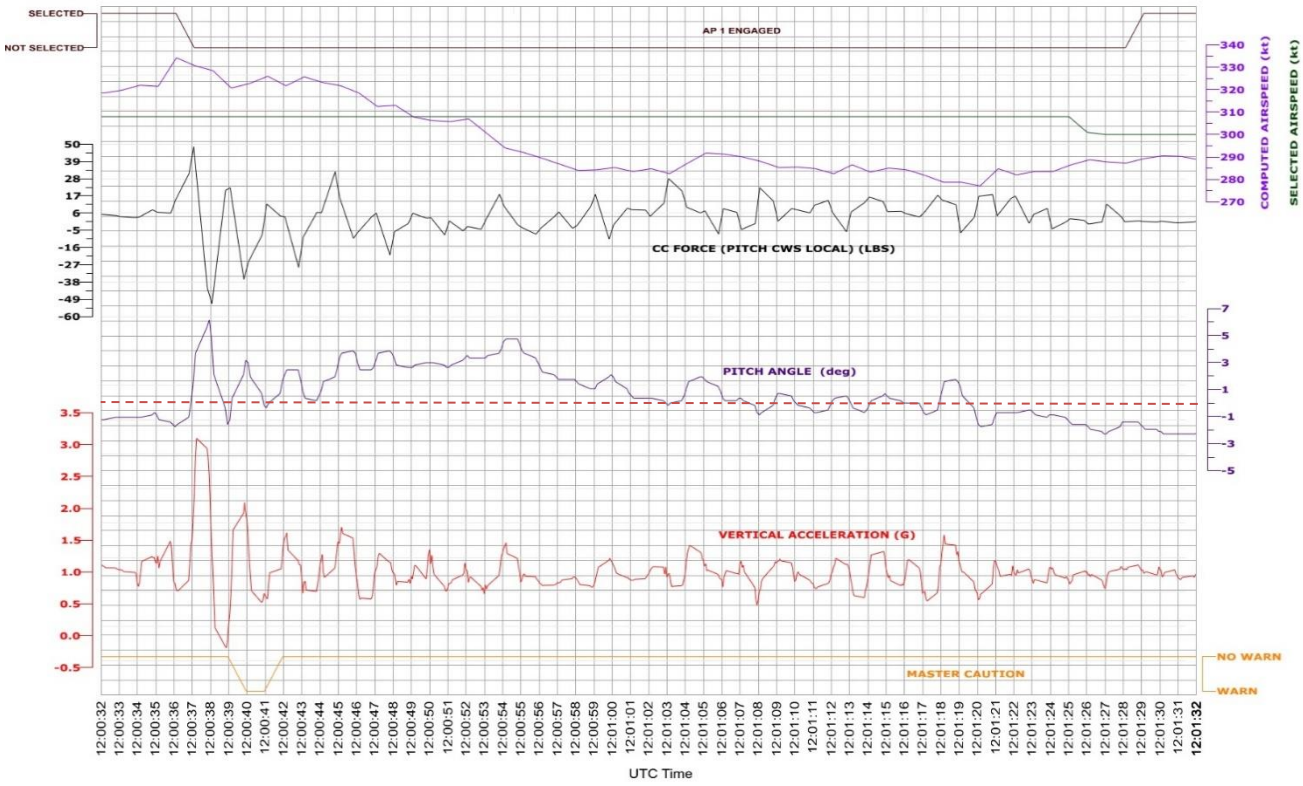


Ilustración 7: Parámetros del vuelo en el intervalo en el que el piloto automático estuvo desconectado

El comandante comentó que no había querido sobrepasar la velocidad máxima de operación y que iba a mantener temporalmente el piloto automático desconectado.

<u>Desde que se vuelve a conectar el piloto automático hasta que la aeronave sale de la zona de turbulencia</u>

A las 14:01:30 h, en descenso a través de 15.900 ft, se volvió a conectar el piloto automático.

En este periodo la aceleración vertical alcanzó un máximo de +1,31 g y un mínimo de + 0,68 g con cambios que puntualmente alcanzaron 0,4 g en un segundo.

A las 14:02:24 h la aeronave salió del área de turbulencia.

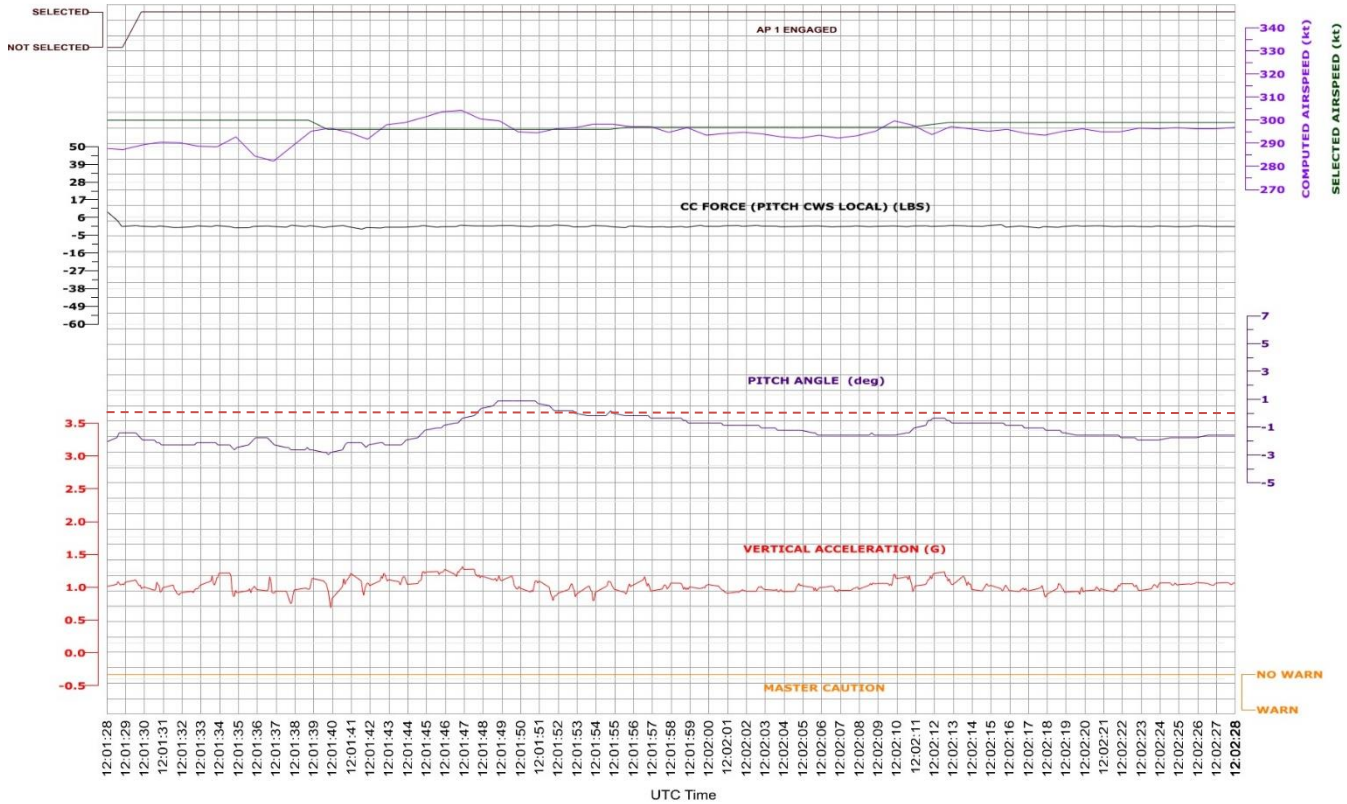


Ilustración 8: Parámetros del vuelo desde que se vuelve a conectar el piloto automático hasta que la aeronave sale de la zona de turbulencia

1.11.3 Aproximación y aterrizaje

A las 14:03:53 h, la aeronave fue autorizada a descender a 3.000 ft y al ILS Z a la pista 07L de Barcelona. ATC informó a la tripulación de vuelo de que eran el número uno y que podían mantener 250 kt hasta ASTEK.

A las 14:04:21 h, el TCP n.º 2 llamó a la cabina de vuelo e informó a la tripulación de vuelo de que el TCP n.º 1 y TCP n.º 4 habían sufrido lesiones y que necesitaban una ambulancia a la llegada. A las 14:04:53 h, la tripulación de vuelo solicitó a ATC la presencia de una ambulancia a la llegada a Barcelona.

Durante el resto del vuelo, la tripulación de cabina fue actualizando a los pilotos la información acerca del estado de los TCP heridos. A su vez los pilotos informaron a ATC del estado de ambos TCP.

La aeronave aterrizó por la pista 07L a las 14:12:01 h.

1.12. Información sobre los restos de la aeronave

No aplicable.

1.13. Información médica y patológica

No se encontró prueba de que la actuación de la tripulación de cabina de pasajeros o la de la tripulación de cabina de vuelo se haya visto afectada por factores fisiológicos o incapacitantes.

1.14. Incendio

No se encontraron rastros de incendio en vuelo o después del impacto.

1.15. Aspectos relativos a la supervivencia

La tripulación de cabina de pasajeros estaba compuesta por 4 miembros. Según declararon, cuando faltaban entre 20 y 30 minutos para aterrizar, el comandante les llamó para que procediesen a asegurar la cabina[12]. Además, les mencionó que podría haber turbulencia durante la aproximación, sin especificarles la intensidad de la misma.

La llamada del comandante fue atendida desde el galley trasero por el TCP n.º 2 que transmitió esta información al TCP nº 3 y al TCP n.º 1 que también se encontraban en el galley trasero.

Acababan de comenzar los preparativos para asegurar la cabina de pasajeros. El TCP nº 1 estaba efectuando el aviso para advertir de turbulencia a los pasajeros, en idioma inglés, pero hubo de interrumpirlo al experimentar, lo que ellos calificaron, como una turbulencia severa, que les afectó de diversa manera.

- El TCP n.º 1 se encontraba en el “galley” trasero, de pie emitiendo el aviso al pasaje. Se golpeó la cabeza con el techo del avión y cayó al suelo entre la puerta L2[13] y el transportín izquierdo golpeándose con la puerta durante la caída. No podía respirar y tenía un severo dolor de espalda. El TCP n.º 2 le trasladó al transportín izquierdo exterior, sin embargo, no podía sentarse correctamente debido a la fractura en la espalda. Ahí permaneció el resto del vuelo.

- El TCP n.º 2 también se encontraba de pie en el “galley” trasero. Aunque no lo recordaba, cree que se debió golpear contra la puerta o el galley y posteriormente consiguió sentarse en el transportín derecho exterior sin poder abrocharse los arneses. Sufrió lesiones y magulladuras. Posteriormente acudió en auxilio del TCP nº. 1 para trasladarle desde el suelo al transportín izquierdo exterior. Permaneció sentado junto al jefe de cabina.

- El TCP n.º 3, que también se encontraba de pie en el “galley” trasero, se golpeó contra el equipo instalado encima del transportín derecho y posteriormente contra el galley. Sufrió lesiones y magulladuras. Se sentó en el transportin derecho interno

[12] Según explicó el operador, el procedimiento habitual para asegurar la cabina de pasajeros comienza 15 minutos antes del aterrizaje.

[13] La puerta L2 es la puerta trasera izquierda del avión.

y se abrochó los arneses. Hubo de cuidar de sus compañeros, los TCP n.º 1 y n.º 4, que se encontraban incapacitados para realizar sus funciones.

- El TCP n.º 4, que estaba en la fila 29 atendiendo a un pasajero, se cayó y se golpeó contra la puerta del lavabo. Con la ayuda del TCP nº. 3, se sentó en el transportín derecho exterior y se abrochó los arneses, donde permaneció el resto del vuelo.

En el siguiente esquema se ha representado la posición de cada miembro de la tripulación de cabina de pasajeros con un círculo verde claro. En el mismo esquema se ha representado con un círculo violeta la posición de un pasajero que sufrió lesiones graves.

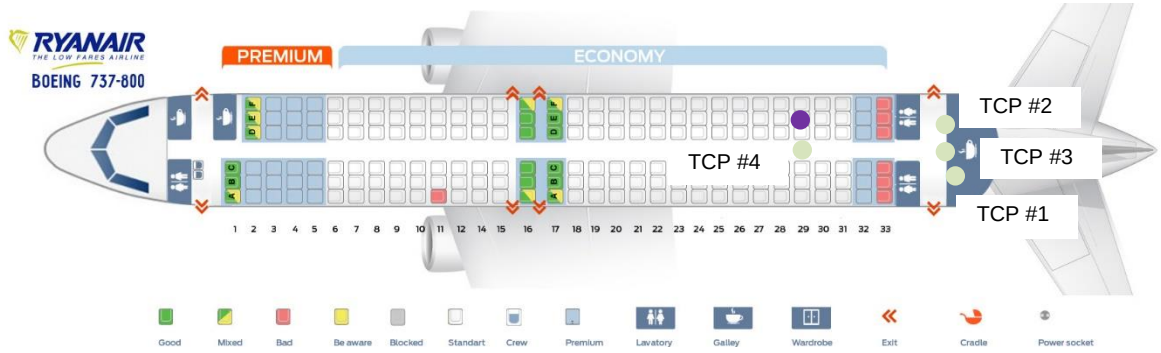


Ilustración 9: Esquema que representa la posición de los miembros de la tripulación de cabina y del pasajero que sufrió lesiones en el momento del suceso

Cuando tuvo lugar el suceso todos los pasajeros estaban sentados. El pasajero herido se encontraba en el asiento 29 E. La tripulación de la cabina de pasajeros advirtió que este pasajero estaba herido cuando aterrizaron.

El TCP n.º 1 y el TCP n.º 4 quedaron incapacitados, asumiendo el TCP n.º 2 las funciones del jefe de cabina. El TCP n.º 2 llamó al comandante para solicitar una ambulancia informándole que había dos miembros de la tripulación de cabina de pasajeros heridos. Cuando aterrizaron, la ambulancia les estaba esperando. El equipo médico subió a la aeronave para prestar asistencia médica a la tripulación y al pasajero La ambulancia trasladó a la tripulación y al pasajero al hospital.

1.16. Ensayos e investigaciones

No aplicable

1.17. Información organizativa y de dirección

No aplicable.

1.18. Información adicional

1.18.1. Información meteorológica proporcionada a la tripulación durante la Preparación del Vuelo

La información meteorológica proporcionada a la tripulación de vuelo durante la preparación del vuelo fue similar a la contenida en el apartado 1.7.1. de este informe. El comandante explicó que basó la probabilidad de encontrar turbulencia durante la aproximación en los pronósticos de tormentas en la zona y en el aeropuerto de Barcelona.

Adicionalmente, el plan de vuelo operacional entre los aeropuertos de Fez y Barcelona, indicaba un nivel de cizalladura (shear) de entre 3 y 4 unidades en los puntos de recorrido de la llegada normalizada por instrumentos. El operador explicó que una indicación de 3 unidades o superior se correspondía con una probabilidad de turbulencia moderada.

1.18.2. Procedimientos de turbulencia y sobre-velocidad de Boeing.

El documento “737 Flight Crew Operations Manual” elaborado por Boeing establece cómo operar la aeronave en caso de encontrar turbulencia en vuelo. El Anexo I de este informe incluye un extracto del mismo.

El FCOM explica que, en caso de turbulencia leve o moderada, el piloto automático y/o el sistema de empuje automático pueden permanecer conectados a menos que su desempeño no sea satisfactorio. Temporalmente se pueden apreciar oscilaciones de entre 10 y 15 nudos en la velocidad

En el supuesto de turbulencia severa indica que el uso del piloto automático es opcional, recomendando adecuar la velocidad a 0,76 Mach o 280 kt y mantener la actitud de la aeronave con los planos nivelados, permitiendo variaciones de altitud. Advierte que no se actúe sobre los mandos de control con movimientos grandes y repentinos.

El documento “737 Flight Crew Training Manual” elaborado por Boeing establece cómo operar la aeronave en caso de sobre-velocidad. El Anexo II de este informe incluye un extracto del mismo.

El FCTM del 737 NG/MAX recomienda a las tripulaciones de vuelo, que en el supuesto de encontrase en una situación de sobre-velocidad inesperada, mantengan el piloto automático conectado, a menos que sea aparente que este no está corrigiendo la situación de sobre-velocidad.

El FCTM recuerda que la desconexión del piloto automático para evitar o reducir la severidad de una condición de sobre-velocidad accidental puede provocar cambios abruptos en el ángulo de asiento.

1.18.3. Manual de Operaciones de Ryanair: Procedimiento de turbulencia.

Del Manual de Operaciones Parte A de Ryanair, en concreto del apartado 8.3.8.3 dedicado a la turbulencia, se ha extraído lo siguiente:

No se planificarán vuelos a través de áreas con turbulencia severa. Los procedimientos están incluidos en el FCOM Volumen 1 y en el SEP.

La turbulencia severa debe notificarse a ATC. Además, ha de rellenarse un ASR y anotarse en el libro técnico de la aeronave.

1.18.4 Procedimientos de coordinación en caso de turbulencia

El Manual de Operaciones Parte A del operador describe los procedimientos de coordinación entre la tripulación de vuelo y la tripulación de cabina en el supuesto de prever turbulencia durante el vuelo. También aborda el supuesto de cómo actuar en caso de encontrarla de forma inesperada.

Cuando la tripulación de vuelo prevea la posibilidad de atravesar zonas de turbulencia durante el vuelo comunicará este hecho a la tripulación de cabina. Aunque el procedimiento no incluye un mensaje estándar para comunicarlo; sí solicita que, a la hora de transmitir el nivel de turbulencia, se empleen los términos: LIGERA, MODERADA y SEVERA para referirse a la misma. Cada uno de estos niveles lleva asociadas una serie de acciones a realizar por parte de la tripulación de cabina, que comprenden desde continuar sus tareas con precaución, hasta interrumpir las mismas inmediatamente.

Los procedimientos del operador explican que si durante la preparación del vuelo se dispone de información que pronostique que el vuelo se realizará por zonas turbulentas, esta información se transmitirá a la tripulación de cabina antes de iniciar el vuelo. Una vez en vuelo, se comunicará con la tripulación de cabina para transmitirles la posibilidad de atravesar una zona de turbulencia y la tripulación de vuelo activará la señal de abróchense los cinturones.

El procedimiento aclara que las tripulaciones de cabina no deben esperar a recibir el aviso desde la cabina de vuelo para interrumpir sus tareas, en el supuesto de que el nivel de turbulencia sea tal, que precisen interrumpirlo y sentarse. En particular puntualiza que en el supuesto de encontrar turbulencia moderada o severa de forma súbita e inesperada el jefe de cabina debe instruir al resto de TCPs para que ocupen sus asientos e impartir un aviso al pasaje para abrocharse los cinturones y permanecer sentados.

En el caso de turbulencia severa, los tripulantes de cabina de pasajeros deben sentarse en el asiento disponible más cercano, incluyendo los asientos destinados a los pasajeros.

1.18.5 Acciones tomadas por el operador tras el suceso

Tras el suceso el operador realizó una investigación interna de seguridad y como resultado de la misma proporcionó entrenamiento adicional en simulador y en línea a la tripulación de vuelo abordando los aspectos de sobre-velocidad y el vuelo en turbulencia.

Y también consideró[14] las siguientes medidas:

- La realización de un debriefing del suceso para la tripulación de cabina.
- El empleo del suceso como caso de estudio dentro del entrenamiento CRM de las tripulaciones y,
- Divulgar el suceso a través de las publicaciones que promocionan la seguridad operacional en el operador.

1.19. Técnicas de investigación especiales

No aplicable.

[14] A fecha de publicación del informe, Ryanair ha informado a la investigación que dos de las tres medidas consideradas ya están implementadas.

2. ANALISIS

En este accidente se han analizado varios aspectos: los relacionados con la meteorología durante el despacho del vuelo y en el área del accidente, la coordinación entre la tripulación de vuelo y la tripulación de cabina y la actuación de la tripulación de vuelo.

2.1 Análisis de los aspectos meteorológicos relacionados con el accidente.

Análisis de la información meteorológica proporcionada a la tripulación de vuelo

Los pronósticos meteorológicos proporcionados a la tripulación de vuelo con anterioridad al inicio del vuelo, pronosticaban tormentas tanto en el aeropuerto como en la zona de Barcelona. Adicionalmente, el plan de vuelo operacional entre los aeropuertos de Fez y Barcelona, indicaba un nivel de cizalladura (shear) de entre 3 y 4 unidades en los puntos de recorrido de la llegada instrumental, con lo cual era probable que el descenso y la aproximación se llevaran a cabo en un entorno turbulento.

El comandante así lo estimo y se lo comunicó a la tripulación de cabina.

Análisis de la situación meteorológica en el área del accidente

La tripulación de vuelo que estaba siguiendo la STAR MATEX 2E con el radar meteorológico conectado, detectó una formación tormentosa en el tramo comprendido entre los puntos MATEX y BL028. Para evitar adentrarse en ella solicitaron a ATC desviarse catorce grados a la izquierda, lo que según explicó el comandante les proporcionó suficiente margen de separación respecto a la nube. Añadió que se encontraban en VMC y el aire era estable.

No había habido reportes de turbulencia, pero en la frecuencia se escuchaban solicitudes de desvío por parte de las aeronaves para evitar nubes tormentosas.

Según explicaron, instantes después la aeronave comenzó a atravesar un área turbulenta. La declaración de la tripulación concuerda con los datos extraídos del QAR, en los cuales se comienzan a apreciar cambios significativos en el valor de la aceleración vertical e igualmente variaciones en los valores de temperatura exterior y de intensidad y dirección de la velocidad del viento. En el periodo comprendido desde que se adentran en el área de turbulencia hasta la desconexión del piloto automático el nivel de turbulencia fue variando de ligero a moderado, registrándose variaciones de la aceleración vertical que puntualmente llegaron a alcanzar 0,7 g en un segundo. En este mismo periodo la velocidad sufrió fluctuaciones que llegaron a alcanzar un máximo de 12 nudos en un segundo, instantes antes de la desconexión del piloto automático.

En relación al periodo que siguió a la desconexión del piloto automático, no se ha podido determinar el nivel de turbulencia ya que las acciones ejercidas sobre la columna de control contribuyeron a las variaciones de aceleración vertical alcanzadas mientras el piloto automático estuvo desconectado. En este periodo se registraron cambios en la aceleración

vertical que alcanzaron 3,2 g en un segundo, coincidiendo con los cambios en el ángulo de asiento y el nivel de fuerza ejercido en la columna de control.

En el periodo que siguió a la conexión del piloto automático el nivel de turbulencia fue ligero con variaciones de aceleración vertical que puntualmente alcanzaron 0,4 g en un segundo.

2.2 Análisis de la coordinación entre la tripulación de vuelo y la tripulación de cabina en relación a la turbulencia.

Durante el briefing prevuelo la tripulación de vuelo informó a la tripulación de cabina de la probabilidad de encontrar turbulencia durante el descenso a Barcelona. Adicionalmente, según explicaron tanto pilotos como TCP, el comandante informó de este hecho a los pasajeros en el mensaje que emitió a través del sistema de anuncios al pasaje.

Una vez en descenso y tras desviarse para evitar adentrarse en una nube tormentosa, el comandante llamó a través del interfono a la tripulación de cabina para informarles que podrían encontrar turbulencia durante la aproximación y que comenzaran a realizar los preparativos para asegurar la cabina de pasajeros. En el mensaje el comandante no incluyó el nivel de gravedad de la turbulencia (ligera/moderada/severa) ni una indicación de cuanto tiempo disponía la tripulación de cabina para asegurar la cabina de pasajeros.

La llamada del comandante se produjo cuando el tiempo restante de vuelo estimado era aproximadamente 25 minutos. Es decir, les solicitó que iniciaran los preparativos para asegurar la cabina de pasajeros con antelación a lo habitual, que es de 15 minutos, en previsión de tener que atravesar alguna zona nubosa durante la aproximación, cuya turbulencia asociada pudiera afectar a los pasajeros y tripulantes de cabina. El mensaje no transmitía urgencia a la hora de asegurar la cabina, pero sí la petición, por precaución, de comenzar antes los preparativos para tener la cabina asegurada durante la aproximación.

Habían transcurrido escasos dos minutos tras la llamada del comandante para informar a la tripulación de cabina acerca de la probabilidad de encontrar turbulencia durante la aproximación, cuando la aeronave se adentró en un área de turbulencia no detectada por la tripulación de vuelo. Según explicaron los TCP, estaban comenzando las tareas para asegurar la cabina de pasajeros, cuando de forma súbita se golpearon contra diversas partes del galley y de la cabina de pasajeros cayendo al suelo. Lo percibieron como una turbulencia severa y súbita, en la que no tuvieron tiempo de sentarse ni de agarrarse a ninguna parte de la cabina.

2.3 Análisis de la actuación de la tripulación de vuelo

Como ATC había demorado el descenso de la aeronave, el piloto a los mandos, a medida que descendían, fue incrementando la velocidad seleccionada en el MCP con el objetivo de incrementar el régimen de descenso. Posteriormente fueron autorizados a proceder a ASTEK, lo cual recortaba la ruta hasta la toma y seguía posicionando a la aeronave por encima del perfil de descenso. La componente de viento en cola era de 58 kt. El piloto a los mandos extendió los aerofrenos con el objetivo de seguir aumentando el régimen de descenso.

Según explicaron los pilotos, se habían alejado de la nube tormentosa y se encontraban en condiciones VMC.

De este modo la aeronave entró en un área de turbulencia no detectada con los aerofrenos extendidos y una velocidad CAS de 325 kt.

El piloto a los mandos redujo la velocidad seleccionada hasta los 308 kt, pero el vuelo en la zona turbulenta provocaba cambios en la velocidad calibrada de la aeronave que fluctuaron entre los 306 kt y los 329 kt.

30 segundos después de entrar en el área de turbulencia la velocidad se incrementó súbitamente de 322 a 334 kt. Según explicó el piloto a los mandos el vector de tendencia de velocidad representaba grandes oscilaciones y percibió que el piloto automático no estaba corrigiendo los cambios de velocidad.

El piloto a los mandos desconectó el piloto automático y tiró de la columna de control encabritando la aeronave para reducir la velocidad. En esta maniobra se alcanzaron +3,09 g. Un segundo después actuó en sentido contrario, picando alcanzando -0,18 g, lo que supuso un cambio de 3,2 g en un segundo.

Aunque en este caso no se llegó a exceder la velocidad máxima de operación, el fabricante recomienda que en el supuesto de encontrase en una situación de sobre-velocidad inesperada, se mantenga el piloto automático conectado, a menos que sea evidente que este no está corrigiendo la situación de sobre-velocidad. Recuerda que la desconexión del piloto automático para evitar o reducir la severidad de una condición de sobre-velocidad inesperada puede provocar cambios abruptos en el ángulo de asiento.

El piloto a los mandos explicó que según su percepción la turbulencia llegó a ser severa. En esta condición el fabricante recomienda reducir la velocidad a 280 kt. La velocidad alcanzó valores próximos a los 280 kt en el periodo en el que el piloto automático estuvo desconectado.

Tras la investigación de seguridad interna del accidente, el operador reforzó el entrenamiento de la tripulación de vuelo en materia de turbulencia y sobre-velocidad. Adicionalmente, entre otras medidas, propuso divulgar, a través de sus publicaciones de seguridad operacional, las lecciones aprendidas en el suceso e incluirlo como caso de estudio en el entrenamiento de las tripulaciones. Todas ellas se consideran medidas acertadas y no se proponen recomendaciones de seguridad

3. CONCLUSIONES

3.1. Constataciones

- Los pilotos habían recibido entrenamiento en materia de sobre-velocidad y vuelo en condiciones de turbulencia.

- Tras analizar la información meteorológica del vuelo, el comandante informó a la tripulación de cabina de la probabilidad de encontrar turbulencia durante el descenso a Barcelona.
- No hubo reportes de turbulencia ni de otras aeronaves ni por parte de las dependencias de control de tránsito aéreo.
- La señal de abróchense los cinturones se había mantenido encendida durante todo el vuelo, en línea con los procedimientos COVID del operador.
- La tripulación de la aeronave observó visualmente ciertas nubes y maniobró visualmente para evitarlas.
- El comandante avisó a los tripulantes de cabina de pasajeros de la posibilidad de encontrar turbulencia durante la aproximación y les solicitó que comenzaran los preparativos para asegurar la cabina de pasajeros.
- Dos minutos después de la llamada del comandante, la aeronave entró en un área de turbulencia no detectada.
- La velocidad se incrementó súbitamente a 334 kt sin sobrepasar la V_{MO} que era de 340 kt.
- Para evitar que la velocidad excediera la V_{MO}, el PF desconectó el piloto automático y tiró de la columna de control, encabritando la aeronave. Seguidamente actuó sobre la columna de control en sentido contrario, empujando, provocando la bajada del morro del avión.
- Durante esta maniobra para evitar sobrepasar la V_{MO}, la aceleración vertical alcanzó +3,09 g que un segundo después pasó a -0,18 g.
- Los tripulantes de cabina de pasajeros, que en ese momento estaban de pie cayeron al suelo y dos de ellos se quedaron incapacitados el resto del vuelo.
- Cuando aterrizaron, los tripulantes advirtieron que un pasajero se había lesionado y presentaba heridas en la cabeza.
- La aeronave accidentada no reportó turbulencia a las dependencias de control de tránsito aéreo. El Reglamento de Ejecución (UE) nº 923/2012 de la Comisión de 26 de septiembre de 2012 y Reglamento de Circulación Aérea establecen que se reporte la turbulencia moderada o grave como una aeronotificación especial.

3.2. Causas/factores contribuyentes

La investigación ha concluido como causa probable de este accidente el conjunto de acciones realizadas por el piloto a los mandos (PF) para evitar que se excediera la velocidad de operación máxima permisible (V_{MO}) mientras la aeronave volaba en un área de turbulencia, a consecuencia de las cuales se produjeron aceleraciones verticales que provocaron lesiones graves a un pasajero y a un tripulante de cabina de pasajeros.

4. RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD OPERACIONAL

Las medidas propuestas por el operador se consideran acertadas y no se proponen recomendaciones de seguridad operacional.

ANEXO I: 737 FLIGHT CREW OPERATIONS MANUAL. TURBULENCE

Additional procedures for securing the airplane during sandy or dusty conditions may be needed. These procedures are normally done by maintenance personnel, and include, but are not limited to:

- engine covers installed, if applicable.
- protective covers and plugs installed (streamers should be used to remind personnel to remove before flight).
- doors and sliding windows closed.
- all compartments closed.

Turbulence (RYR)

The maximum degree of turbulence encountered at the pilot's station during certification flight tests was evaluated as moderate.

Flight through severe turbulence should be avoided, if possible. When flying at 30,000 feet or higher, it is not advisable to avoid a turbulent area by climbing over it unless it is obvious that it can be overflown well in the clear. For turbulence of the same intensity, greater buffet margins are achieved by flying the recommended speeds at reduced altitudes.

Light and Moderate Turbulence:

During flight in light to moderate turbulence, the autopilot and/or autothrottle may remain engage unless performance is unsatisfactory. Increased thrust lever activity can be expected when encountering wind, temperature changes and large pressure changes. Short-time airspeed excursions of 10 to 15 knots can be expected.

Passenger signs ..... ON

FMC N1 LIMIT page ..... Verify/Select CON

Advise passengers to fasten their seat belts prior to entering areas of reported or anticipated turbulence. Instruct the flight attendants to check that all passengers' seat belts are fastened.

Severe Turbulence:

Selection of the autopilot Control Wheel Steering (CWS) is recommended for operation in severe turbulence. Do not use Altitude Hold (ALT HLD) mode.

Boeing Proprietary. Copyright © Boeing. May be subject to export restrictions under EAR. See title page for details.

The recommended procedures for flight in severe turbulence are:

- Airspeed - Target airspeed should be approximately 280 KIAS or 0.76 MACH, whichever is lower during climb or descent. If below 15,000 feet and the airplane gross weight is less than the maximum landing weight, the airplane may be slowed to 250 knots in the clean configuration during the descent. If in cruise, set turbulence penetration N1 as highlighted by TURB N1 on the Cruise page. Severe turbulence will cause large and often rapid variations in indicated airspeed. DO NOT CHASE THE AIRSPEED
- FMC N1 LIMIT page - Verify/Select CON
- Yaw Damper - Engaged
- Autopilot - Optional - If the autopilot is engaged, use CWS position, do not use ALT HLD mode
- Autothrottle - Disengage
- Attitude - Maintain wings level and the desired pitch attitude. Use the attitude indicator as the primary instrument. In extreme drafts, large attitude changes may occur. DO NOT USE SUDDEN LARGE CONTROL INPUTS. After establishing the trim setting for penetration speed, DO NOT CHANGE STABILZER TRIM
- Altitude - Allow the altitude to vary. Large altitude variations are possible in sever turbulence. Sacrifice altitude in order to maintain the desired attitude and airspeed. DO NOT CHASE THE ALTITUDE
- Thrust - Engine ignition should be on. Position the ENGINE START switches to FLT. Make an initial thrust setting for the target airspeed. CHANGE THRUST ONLY IN CASE OF EXTREME AIRSPEED VARIATION. The FMC cruise page displays N1 target value for turbulence.

PHASE OF FLIGHT	AIRSPEED
CLIMB	280 knots or .76 Mach whichever is lower.
CRUISE	Use FMC recommended thrust settings. If the FMC is inoperative, refer to the Unreliable Airspeed page in the Performance–Inflight section of the QRH for approximate N1 settings that maintain near optimum penetration airspeed.
DESCENT	.76 Mach/280/250 knots whichever is lower.. If severe turbulence is encountered at altitudes below 15,000 feet and the airplane gross weight is less than the maximum landing weight, the airplane may be slowed to 250 knots in the clean configuration.

Boeing Proprietary. Copyright © Boeing. May be subject to export restrictions under EAR. See title page for details.

Note: If an approach must be made into an area of severe turbulence, delay flap extension as long as possible. The airplane can withstand higher gust loads in the clean configuration.

Boeing Proprietary. Copyright © Boeing. May be subject to export restrictions under EAR. See title page for details.

ANEXO II: 737 FLIGHT CREW TRAINING MANUAL. OVERSPEED

Overspeed

VMO/MMO is the airplane maximum certified operating speed and should not be exceeded intentionally. However, crews can occasionally experience an inadvertent overspeed. Airplanes have been flight tested beyond VMO/MMO to ensure smooth pilot inputs will return the airplane safely to the normal flight envelope.

At high altitude, wind speed or direction changes may lead to overspeed events. Although autothrottle logic provides for more aggressive control of speed as the airplane approaches VMO or MMO, there are some conditions that are beyond the capability of the autothrottle system to prevent short term overspeeds.

When correcting an overspeed during cruise at high altitude, avoid reducing thrust to idle which results in slow engine acceleration back to cruise thrust and may result in over-controlling the airspeed or a loss of altitude. If autothrottle corrections are not satisfactory, leave the autopilot engaged, deploy partial speedbrakes slowly until a noticeable reduction in airspeed is achieved. When the airspeed is below VMO/MMO, retract the speedbrakes at the same rate as they were deployed. The thrust levers can be expected to advance slowly to achieve cruise airspeed; if not, they should be pushed up more rapidly.

During descents at or near VMO/MMO, most overspeeds are encountered after the autopilot initiates capture of the VNAV path from above or during a level-off when the speedbrakes were required to maintain the path. In these cases, if the speedbrakes are retracted during the level-off, the airplane can momentarily overspeed. During descents using speedbrakes near VMO/MMO, delay retraction of the speedbrakes until after VNAV path or altitude capture is complete. Crews routinely climbing or descending in windshear conditions may wish to consider a 5 to 10 knot reduction in climb or descent speeds to reduce overspeed occurrences. This will have a minimal effect on fuel consumption and total trip time.

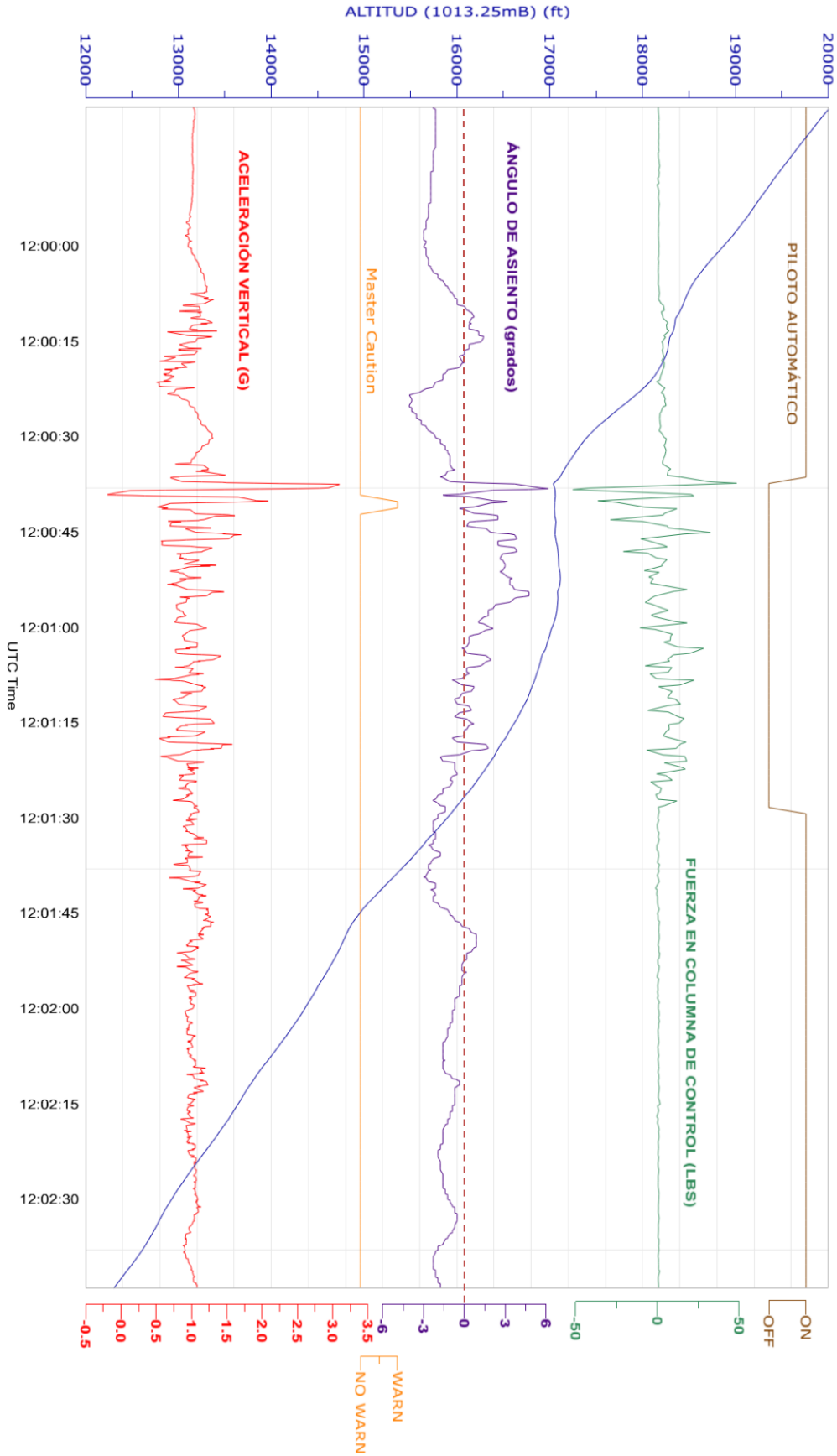
When encountering an inadvertent overspeed condition, crews should leave the autopilot engaged and use the speedbrakes as needed unless it is apparent that the autopilot is not correcting the overspeed. However, if manual inputs are required, disengage the autopilot. Be aware that disengaging the autopilot to avoid or reduce the severity of an inadvertent overspeed may result in an abrupt pitch change.

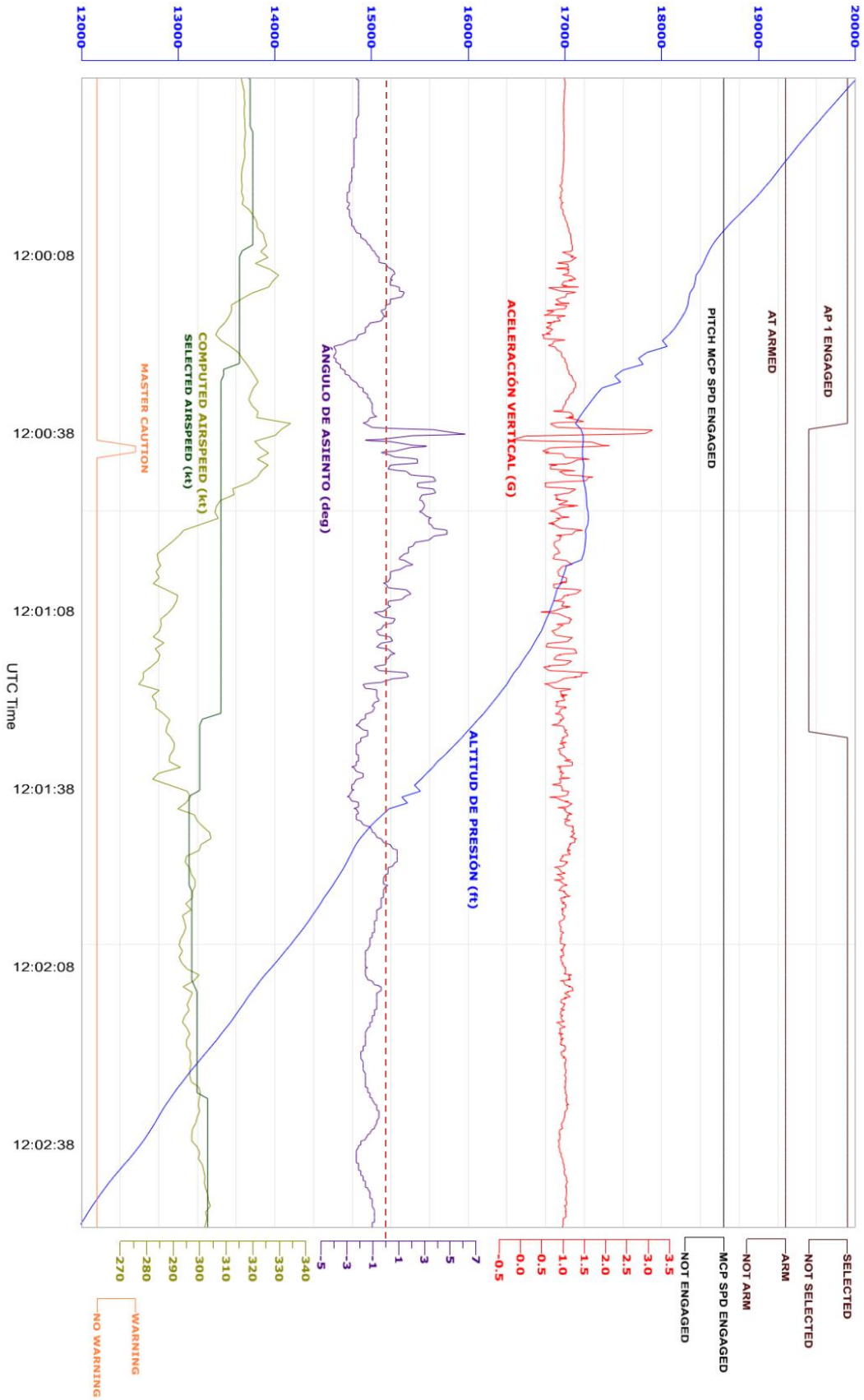
During climb or descent, if VNAV or LVL CHG pitch control is not correcting the overspeed satisfactorily, switching to the V/S mode temporarily may be helpful in controlling speed. In the V/S mode, the selected vertical speed can be adjusted slightly to increase the pitch attitude to help correct the overspeed. As soon as the speed is below VMO/MMO, VNAV or LVL CHG may be re-selected.

Note: Anytime VMO/MMO is exceeded, the maximum airspeed should be noted in the flight log.

Boeing Proprietary. Copyright © Boeing. May be subject to export restrictions under EAR. See title page for details.

ANEXO III: DATOS DEL VUELO




AP 1 ENGAGED
AT ARMED
PITCH MCP SPD ENGAGED
ACELERACIÓN VERTICAL (G)
ALTITUD DE PRESIÓN (ft)
ÁNGULO DE ASIENTO (deg)
COMPUTED AIRSPEED (kt)
SELECTED AIRSPEED (kt)
MASTER CAUTION
20000
19000
18000
17000
16000
15000
14000
13000
12000
12:00:08
12:00:38
12:01:08
12:01:38
12:02:08
12:02:38
UTC Time
SELECTED
NOT SELECTED
ARM
NOT ARM
MCP SPD ENGAGED
NOT ENGAGED
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
-0.5
7
5
3
1
-1
-3
-5
340
330
320
310
300
290
280
270
WARNING
NO WARNING