

**EGAST**

Component of ESSI



European General Aviation Safety Team

# FORMACIÓN DE HIELO EN VUELO

PARA PILOTOS DE AVIACIÓN GENERAL

FOLLETO PARA LA PROMOCIÓN DE LA SEGURIDAD



**GA10**



# ÍNDICE

— —	<b>Introducción</b>	<b>3</b>
— —	<b>Condiciones de formación de hielo</b>	<b>4</b>
— —	<b>Consecuencias de la formación de hielo</b>	<b>7</b>
— —	<b>Aeronave en condiciones de formación de hielo</b>	<b>11</b>
— —	<b>Certificación de la protección frente al hielo de la aeronave</b>	<b>14</b>
— —	<b>Planificación previa al vuelo</b>	<b>15</b>
— —	<b>Operaciones de deshielo en tierra</b>	<b>20</b>
— —	<b>Escenarios de formación de hielo en aeronaves</b>	<b>22</b>
— —	<b>RESUMEN</b>	<b>26</b>
— —	<b>ENLACES ÚTILES</b>	<b>28</b>

# Introducción

Este folleto ha sido elaborado por el Equipo Europeo de Seguridad de la Aviación General, EGAST, y está destinado a proporcionar orientación a los pilotos de aeronaves no complejas carentes de sistemas modernos de protección anti-hielo que pueden encontrarse con formación de hielo en vuelo en la estructura externa del avión.



*Hielo formado en vuelo tras el aterrizaje*

## Condiciones de formación de hielo

Cuando en una aeronave una parte de su estructura está a una temperatura por debajo del punto de congelación, si impacta agua líquida en ella, puede formarse hielo. A temperaturas muy bajas, el hielo tiende a formarse cerca de los bordes de ataque, y por lo general, es fácil de ver. A temperaturas justo por debajo de cero, el hielo se extiende hacia atrás, es menos visible y afecta a un área mayor de la estructura.

Las gotas de agua en suspensión en las nubes con una temperatura por debajo del punto de congelación no siempre se convierten en hielo. Si no hay partículas alrededor de las cuales puedan formar hielo, las gotas de agua pueden permanecer superenfriadas en forma líquida hasta una temperatura de  $-40^{\circ}\text{C}$ . Estas gotas de agua superenfriada se encuentran frecuentemente en nubes convectivas con temperaturas desde justo por debajo del punto de congelación, hasta temperaturas de unos  $-10^{\circ}\text{C}$ . Es común encontrar altas concentraciones de agua líquida superenfriada en la parte superior de los estratocúmulos, aunque son los cúmulos con un significativo desarrollo vertical los que normalmente contienen una mayor proporción de gotas de agua superenfriada.

La severidad de las condiciones de formación de hielo varía enormemente, y depende de la concentración de agua líquida superenfriada y del tamaño de las gotas. Allá donde la nube, a un nivel concreto, esté compuesta principalmente de partículas de

hielo, existe la posibilidad de volar a través de ella sin encontrar agua líquida superenfriada. En la parte superior de las nubes de chubasco que ha cristalizado (se ha convertido en cristales de hielo, con aspecto tenue) se crean, por lo general, condiciones de hielo menos graves que en la parte superior “burbujeante” (o en forma de «coliflor») de un cúmulo en desarrollo.



*Parte superior de un cúmulo en desarrollo*

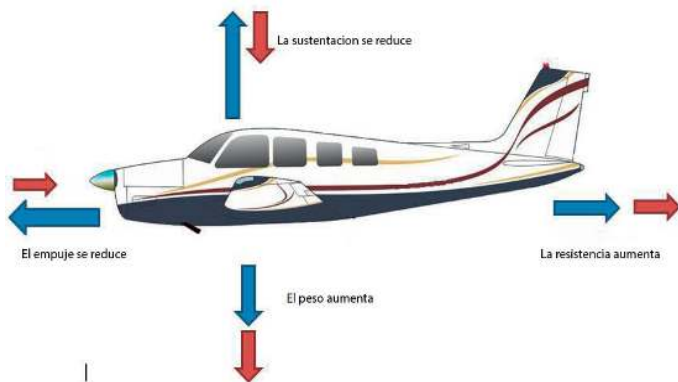
La nieve seca representa un riesgo menos significativo para la formación de hielo en la estructura, ya que normalmente no se adhiere. Sin embargo, es más probable que se forme hielo en el impacto con las tomas de admisión de aire y en los bordes de ataque.

Normalmente, las precipitaciones empiezan como hielo, y a medida que este cae, alcanza los niveles más bajos en forma de nieve o granizo, o se derrite y se convierte en lluvia a medida que atraviesa zonas con temperaturas por encima del punto de congelación en niveles inferiores. Sin embargo, si la lluvia atraviesa una zona de inversión térmica en la que se alcancen temperaturas por debajo del punto de congelación de nuevo, las condiciones de formación de hielo que se producen al entrar en contacto con la aeronave son las más desfavorables de todas. Esta «lluvia de hielo», también conocida como «lluvia engelante», es un tipo de hielo transparente, difícil de ver, y que se acumula muy rápido.

## Consecuencias de la formación de hielo

El hielo sobre una superficie aerodinámica cambia sus propiedades, reduciendo la sustentación y aumentando la resistencia para un ángulo de ataque determinado. El hielo en una pala de hélice reduce la eficiencia de la hélice y su empuje. Además, el peso del hielo acumulado aumenta el peso de la aeronave, y con ello la sustentación requerida. Como a una velocidad del aire dada hay que aumentar el ángulo de ataque para proporcionar la sustentación necesaria, el ángulo crítico (de entrada en pérdida) se alcanza a una velocidad del aire más alta que cuando no existe hielo. **La velocidad de entrada en pérdida aumenta.**

Los pilotos también deben ser conscientes de que la formación de hielo en las superficies de cola puede ser causa de pérdida de control de estabilidad longitudinal (movimiento de cabeceo) cuando se usan los flaps. Esté siempre preparado para revertir la posición de los flaps y recuperar el control.



*Efecto de la presencia de hielo en la actuación de la aeronave*

### **Aviso de pérdida**

Como la acumulación de hielo en el ala hace que disminuya el ángulo de ataque al cual se produce la pérdida, puede que el sensor de aviso de pérdida no genere advertencias en condiciones de formación de hielo. Por ello, los pilotos deben:

- Conocer las velocidades de vuelo mínimas con engelamiento según el POH/AFM (Pilot Operating Handbook/Aircraft Flight Manual) y tratarlas como limitaciones, incluso si no se encuentran dentro de la sección de limitaciones. Si su POH/AFM no incluye velocidades mínimas en condición de engelamiento, añada de 15 a 20 KIAS a su velocidad indicada



para operación normal. Esto aplica a todas las fases del vuelo, incluyendo la aproximación y el aterrizaje, donde se producen la mayoría de los accidentes por formación de hielo en aeronaves pequeñas, pero recuerde que puede afectar a la distancia de aterrizaje requerida.

- Trate cualquier bataneo o vibración como una advertencia de pérdida inminente.
- Limite las maniobras en condiciones de formación de hielo.

### **Temperatura**

Los efectos de la compresión adiabática (debida a la compresibilidad del aire) y del calor producido por la fricción son inapreciables a velocidades de hasta Mach 0.2. Por este motivo, la temperatura medida mediante un sensor de temperatura externa (habitual en aeronaves de aviación general) se acerca a la temperatura total del aire (Total Air Temperature, TAT), que a bajas velocidades está ligeramente por encima de la temperatura estática del aire (Static Air Temperature, SAT).

El orden de magnitud de la diferencia entre la TAT y la SAT a velocidades más altas es de 1°C a 100 nudos y de 4°C a 200 nudos. Por tanto, la estructura externa puede estar unos cuantos grados por encima de la temperatura del aire exterior, lo que ofrece una pequeña pero útil mitigación del riesgo de la acumulación de hielo.

— —  
— —  
— —  
— —  
— —  
— —  
— —  
— —  
— —  
— —  
— —  
— —  
— —  
— —  
— —  
— —  
— —  
— —  
— —  
— —  
— —

### Formación de hielo en las hélices

Si se acumula hielo en una hélice sin protección, la pérdida de empuje puede ser tan significativa que puede que usted no sea capaz de ascender por encima de la zona donde se dan las condiciones de formación de hielo, o incluso que no pueda mantener la altitud.



*Hielo en la pala de una hélice*

## Aeronave en condiciones de formación de hielo

La velocidad con la que el hielo se acumula depende de las condiciones atmosféricas, pero la forma geométrica de las áreas donde se forma afecta tanto a la velocidad de acumulación como a la gravedad de esta acumulación de hielo. El hielo suele acumularse primero en partes de la estructura con un radio de curvatura pequeño, de forma tal que se formará en el plano de cola antes que en el ala. La primera indicación de formación de hielo suele ser la presencia de hielo en pequeñas protuberancias como un sensor de temperatura o el tope de una puerta.



*Hielo en superficies aerodinámica de pequeño radio de curvatura*

También pueden encontrarse indicativos de formación de hielo en el cono de la hélice o en el marco del parabrisas. Los pilotos deben aprender a reconocer dónde empieza a formarse el hielo en su aeronave, y buscar señales visuales de esta formación, porque la performance puede verse degradada con solo pequeñas acumulaciones de hielo. Un milímetro de hielo es suficiente para alterar el comportamiento de algunas superficies aerodinámicas modernas.



*Vuelo con humedad visible*

Las velocidades de acumulación de hielo pueden ser difíciles de predecir y pueden variar sustancialmente por diferencias en la concentración de agua líquida. Bajo condiciones que pueden parecer iguales, se pueden tener velocidades de acumulación de hielo que variarán en un orden de magnitud o más.

Esto significa que puede que en un vuelo a través de nubes con temperaturas por debajo del punto de congelación no se acumule una cantidad significativa de hielo. Sin embargo, en otras ocasiones, en condiciones aparentemente similares, un piloto puede encontrarse con un problema de formación de hielo significativo.

En condiciones severas de hielo, la acumulación del mismo puede volverse crítica en pocos minutos.

# Certificación de la protección frente al hielo de la aeronave

Los sistemas de protección contra el hielo de las aeronaves modernas pueden estar certificados de conformidad con normas tales como la CS 23.1419 o la FAA AC 23.1419-2D. El manual de vuelo contendrá una declaración con la siguiente indicación: «Esta aeronave está aprobada para volar en condiciones de hielo, tal y como se define en la Parte 25, Apéndice C». Dicha certificación se introdujo por la FAA en 1973 y evidencia la capacidad de la aeronave para volar en un amplio abanico de condiciones de formación de hielo durante periodos significativos. A pesar de que algunos accidentes (tales como el del suceso acontecido al vuelo de American Eagle 4184 cerca de Chicago en 1994, un ATR que se encontró con lluvia engelante) muestran que la naturaleza es capaz de generar condiciones incluso más extremas que las consideradas en la norma, dicha certificación autoriza a la tripulación a confiar en que los sistemas anti-hielo o de deshielo de la aeronave podrán hacer frente a cualquier condición «normal» de formación de hielo que pueda encontrarse.

Por el contrario, las aeronaves sin protección frente al hielo y aquellas certificadas conforme a los primeros estándares de vuelo para, p. ej. «condiciones ligeras de formación de hielo» o «condiciones de formación de hielo moderadas», no ofrecen tal garantía a la tripulación. Es vital para las tripulaciones de tales aeronaves disponer de un plan de contingencia que garantice que pueden sacar la aeronave de zonas donde se dan condiciones de formación de hielo si se las encuentran durante el vuelo. El resto de esta guía está destinada a los pilotos de dichas aeronaves.

## Planificación previa al vuelo

A menudo, no es práctico planificar un vuelo de forma que se elimine cualquier posibilidad de encontrarse con condiciones de formación de hielo, del mismo modo que no es práctico planificar un vuelo en un día convectivo de forma que se elimine cualquier posibilidad de encontrarse con cumulonimbos, porque no es posible estar seguro de dónde se formará este tipo de nube. No obstante, al igual que una tripulación debe contar siempre con un plan que le permita evitar volar en una tormenta que aparezca en su ruta planeada, también debe contar con un plan para evitar entrar en zonas donde se dan condiciones de formación de hielo más severas de las que puedan soportar los sistemas de la aeronave, si cuenta con alguno, y contar con una vía de escape si se encuentra con tales condiciones de formación de hielo.

Normalmente esto significa tener un plan para descender a una zona de aire más cálido pero, en algunas circunstancias, quizás sea posible ascender por encima de la capa de formación de hielo. Sin embargo, una aeronave que ya ha acumulado hielo tiene un performance significativamente peor que con una configuración limpia, por lo que quizás no siempre sea posible ascender por encima de la capa de formación de hielo. Una maniobra que está infrutilizada, pero que resulta efectiva cuando se encuentran condiciones de hielo, es simplemente cambiar el rumbo y volver por donde se venía hacia condiciones libres de hielo. De este modo, una comprobación clave de la planificación previa al vuelo es comparar el nivel de vuelo con condiciones de

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

engelamiento con las altitudes mínimas practicables IFR. Al igual que ocurre con otros tipos de condiciones meteorológicas peligrosas, se asume que se contará con cierta cooperación por parte del control ATC, pero puede que no siempre estén disponibles niveles de vuelo más bajos y seguros, por ejemplo alrededor de TMAAs (Terminal Manoeuvring Areas) con densidad de tránsito altas.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

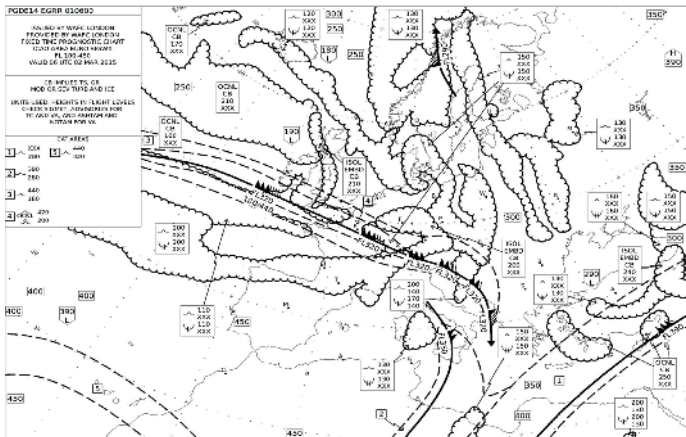
En comparación con la situación de hace tan solo una década, las previsiones meteorológicas aeronáuticas actuales pueden pronosticar temperaturas y vientos en altura de forma mucho más precisa. Tenga en cuenta la humedad relativa de la atmósfera a las altitudes de crucero planificadas; eso puede ofrecerle cierta orientación sobre la presencia de nubes. Sin embargo, en una masa de aire inestable, las nubes cumuliformes pueden ascender hacia capas de la atmósfera con humedad baja (y de hecho lo hacen).

---

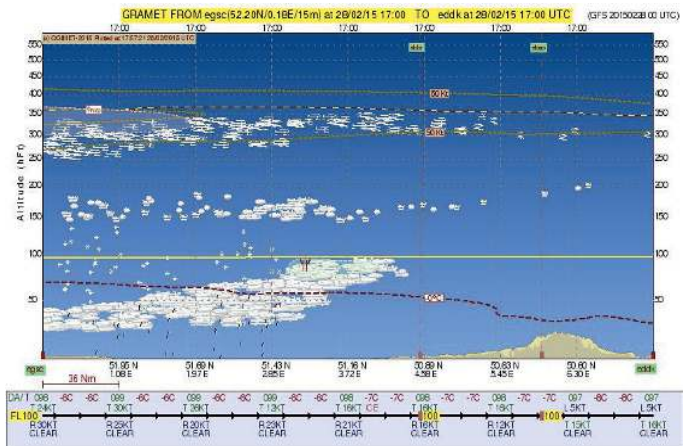
---

Algunas páginas web proporcionan información meteorológica no oficial que puede resultar útil para posiciones o rutas, incluyendo los niveles de congelación.





Cartografía de meteorología significativa



Cortesía de la página web de Ogimet

### **Comprobaciones previas al vuelo de la aeronave cuando se prevean temperaturas en altura por debajo del punto de congelación**

Debe comprobarse el sistema de pitot-estática por si tiene agua que pueda congelarse y bloquear el sistema. Si la aeronave cuenta con drenajes de las tomas de pitot y estática, debe conocer dónde están y cómo usarlos.

Compruebe que los sistemas deshielo y anti-hielo de la estructura, de la hélice y del parabrisas funcionan correctamente. Los sistemas de deshielo suelen descuidarse y cuando finalmente se utilizan pueden no funcionar. Los dispositivos inflables pueden tener fugas, especialmente en la cola de la aeronave (debido a piedras proyectadas por el tren de aterrizaje/las hélices), así que revise que se inflan correctamente.

Compruebe cualquier otra parte de la estructura en la que pueda acumularse el agua, prestando especial atención a que las superficies de control de vuelo estén libres de ella.

Compruebe que el calefactor del pitot realmente calienta el cabezal del mismo, pero no se queme la mano (use el dorso), ni descargue la batería por olvidar desconectarlo.



*Bota de deshielo con parches de reparación*



# Operaciones de deshielo en tierra

Aunque esta guía no tiene como objetivo referirse en detalle a los procedimientos de deshielo en tierra, es esencial que la aeronave esté y permanezca libre de hielo antes del vuelo. El hielo en una superficie aeronáutica reducirá de forma significativa su performance en el despegue. Ni la nieve ni la escarcha se desprenderán con el movimiento de la aeronave. Sea fiel al concepto de “Ala limpia”.

Antes del despegue debe eliminarse la contaminación por hielo en las superficies de la aeronave para evitar cualquier dificultad de manejo y control, cualquier pérdida de performance o daño mecánico.

El deshielo es un procedimiento que elimina la nieve, la escarcha y el aguanieve de la aeronave, mientras que las medidas anti-hielo evitan la contaminación por escarcha/hielo/nieve durante un periodo limitado (Tiempo de aplazamiento, Hold Over Time).

Hay varios tipos de fluidos disponibles:

- Tipo I (solo deshielo),
- Tipos II/III/IV (fluidos anti-hielo), que contienen un agente espesante polimérico que permite que el fluido forme una película humectante líquida más espesa en las superficies externas de la aeronave.
- El fluido Tipo III está destinado a aeronaves con una velocidad de rotación ( $V_R$ ) lenta.

Cuando se usen este tipo de fluidos, aumente la velocidad de rotación y prevea un aumento de la distancia de despegue y/o la necesidad de aplicar una mayor fuerza para mover los mandos de vuelo.



*Ala con escarcha*

## Escenarios de formación de hielo en aeronaves

Un escenario típico de encuentros con zonas de formación de hielo son las nubes convectivas que se desarrollan por encima del nivel de congelación en un día con atmósfera inestable. Si su nivel de crucero está por encima del nivel de congelación, pero por debajo del techo de nubes, se enfrenta a la posibilidad de formación de hielo. Cuando las nubes convectivas están dispersas y es posible verlas, pueden evitarse, al igual que las condiciones de formación de hielo asociadas a las mismas. Sin embargo, tenga en cuenta que esto requiere contar con condiciones visuales y que cualquier acumulación de hielo en el parabrisas restringe la visibilidad.



*Las nubes convectivas pueden evitarse en vuelo visual*

El techo de las nubes de tipo estratocúmulo, especialmente las que se encuentran justo debajo de una zona de inversión térmica, a menudo contiene altas concentraciones de agua líquida superenfriada. Su gran amplitud horizontal significa que la zona de formación de hielo es continua, y que solo un cambio de nivel de vuelo conseguirá aliviar las condiciones de formación de hielo.



*Nubes de tipo estratocúmulo a la vista*

Volar en una masa de aire frío por debajo de una nube con precipitaciones en una zona con aire más cálido por encima, como por ejemplo, bajo un frente cálido u oclusión, es muy probable que exponga la aeronave al riesgo de lluvia engelante, que puede acumularse rápidamente y ser difícil de ver. Vigile el indicador de temperatura, y si experimenta lluvia a temperaturas bajo cero, aléjese inmediatamente de esas condiciones meteorológicas.



*Debe evitarse la lluvia en condiciones por debajo del punto de congelación*

Por lo general, es más problemático ascender a través de una capa fina con condiciones de formación de hielo que descender a través de una. Durante el ascenso, la velocidad es normalmente más baja, por lo que el fuselaje está más frío y el ángulo de ataque expone más superficie del ala a una posible acumulación de hielo. La velocidad vertical está limitada por la performance de la aeronave, y la tasa de ascenso se reduce de forma progresiva a medida que se forma hielo, aumentando el tiempo que se pasa en la capa donde se dan condiciones de formación de hielo. La



información en la base de la nube es normalmente más precisa que en el techo de las nubes, por lo que el grosor de la capa de formación de hielo es más predecible cuando se desciende.

Aunque, en principio, el hielo acumulado puede eliminarse por sublimación en atmósfera limpia, dicho proceso es por lo general lento incluso en temperaturas por debajo del punto de congelación. Incluso pequeñas cantidades de hielo encontradas durante un ascenso hacia aire limpio pueden provocar un deterioro de la performance de la aeronave y un aumento del consumo de combustible, lo que debe tenerse muy en cuenta a la hora de la planificación previa del vuelo.

## RESUMEN

### Acciones a tomar cuando se encuentran condiciones de formación de hielo

- Tenga en cuenta las opciones disponibles para mitigar el riesgo inmediatamente. Mientras la acumulación de pequeñas cantidades de hielo puede no ser una emergencia, sí requiere de atención inmediata, y tiene que estar listo para actuar si las condiciones de formación de hielo persisten o empeoran.
- Lleve a cabo las acciones requeridas en el manual de vuelo, que pueden incluir, por ejemplo, la selección de aire alternativo de admisión del motor. La calefacción del pitot debe estar conectada. Normalmente se desaconseja el uso del piloto automático en condiciones de formación de hielo, e incluso está prohibido en muchos casos.
- Si está equipado con sistema de deshielo, empléelo tal y como le indica el manual de vuelo, pero no confíe en dicho equipo para permitir el vuelo en condiciones de formación de hielo de forma indefinida. En particular, el sistema anti-hielo/deshielo de la hélice puede ayudar a evitar cierto deterioro del rendimiento de la misma.
- Controle cualquier acumulación de hielo con atención, recordando que es más probable que se acumule el hielo más rápido en partes de la estructura que no son fácilmente visibles.

- Comuníquese con el control ATC para conocer los niveles alternativos o rutas disponibles.
- Aléjese de las condiciones de formación de hielo antes de que el rendimiento de la aeronave o su control sufran un deterioro significativo.
- Prevea una velocidad de pérdida más alta si se ha acumulado hielo, y prevea también un mayor consumo de combustible.
- Piense en velocidades de aproximación más altas y mantenga la potencia durante el aterrizaje.
- Prevea posibles fuerzas de cabeceo durante el movimiento de los flaps. Esté preparado para invertir la selección.

## ENLACES ÚTILES

— — La Fundación para la seguridad aérea de la AOPA ha publicado  
— — varias advertencias sobre formación de hielo que los pilotos  
— — encontrarán útiles. Podrá encontrar estos documentos en:

— — <http://www.aopa.org/asf/publications/advisors.html>.

— — También hay abundante material didáctico sobre la formación de  
— — hielo elaborado por la NASA, en cooperación con la FAA. Dichas  
— — publicaciones se pueden encontrar aquí:

— — <http://icebox-esn.grc.nasa.gov/education/products.html>

— — <http://aircrafticing.grc.nasa.gov/courses.html>

# NOTAS

A series of horizontal dotted lines for writing notes, with a solid blue line on the right side.

# NOTAS

A series of horizontal dashed lines for writing notes, arranged in two columns. The left column contains 18 lines, and the right column contains 20 lines. The lines are evenly spaced and extend across the width of the page.

# PIE DE IMPRENTA

## **Aviso legal:**

Los puntos de vista explicados en este folleto son responsabilidad exclusiva del EGAST. Toda la información proporcionada incluye únicamente datos de carácter general, sin que pretenda responder a las circunstancias específicas de ninguna persona o entidad concretas. Su único propósito es proporcionar orientación sin afectar de forma alguna al estado de las disposiciones legislativas y normativas oficialmente adoptadas, incluyendo los Medios Aceptables de Cumplimiento (AMC) o los Materiales de Guía (GM). Esta información no pretende ni debe ser tomada como una forma de garantía, representación, asunción, contrato o como cualquier otro tipo de compromiso vinculante por la ley sobre el EGAST, sus participantes o sus organizaciones afiliadas. La adopción de tales recomendaciones está sujeta a un compromiso voluntario, siendo responsabilidad exclusiva de aquellos que respaldan dichas acciones.

En consecuencia, el EGAST y sus participantes u organizaciones afiliadas no asumen de forma explícita o implícita ninguna garantía o responsabilidad por la precisión, integridad o utilidad de cualquier información o recomendación incluida en este folleto. Hasta el punto permitido por la ley, el EGAST y sus participantes u organizaciones afiliadas no serán responsables de ningún tipo de daño o de cualquier otra reclamación o demanda derivada de o relacionada con el uso, copia o muestra de este folleto.

## **Créditos de las imágenes:**

Imagen de la portada: Diamond Aircraft Industries

Imágenes del documento: Oficina de seguridad del transporte de Hungría (KBSZ), Aviación Civil del Reino Unido (CAA), David Cockburn, Agencia meteorológica del Reino Unido, Diamond Aircraft Industries

**Edición en español por cortesía de la**

**AGENCIA ESTATAL DE SEGURIDAD AÉREA (AES)**



Setiembre 2017

**GRUPO EUROPEO PARA LA SEGURIDAD EN LA AVIACIÓN  
(EUROPEAN GENERAL AVIATION SAFETY TEAM, EGAST)**

Componente de la Iniciativa Europea de Seguridad Estratégica  
(European Strategic Safety Initiative, ESSI)

**AGENCIA EUROPEA DE SEGURIDAD AÉREA  
(EUROPEAN AVIATION SAFETY AGENCY, EASA)**

Safety Intelligence and Performance Department  
Konrad-Adenauer-Ufer 3  
50668, Colonia, Alemania

**Correo electrónico:** [safetypromotion@easa.europa.eu](mailto:safetypromotion@easa.europa.eu)

**Web** <https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/safety-management/safety-promotion>

