

# Hielo en las alas

Carlos Fernández Freire

AEMET, Oficina Meteorológica del Aeropuerto de Bilbao

**A**LGUIEN ajeno a la aeronáutica, aún con nociones de meteorología, podría considerar el engelamiento estructural como una contingencia propia del vuelo realizado a gran altitud o en entornos situados en latitudes extremas o en crudas condiciones invernales; sin embargo, cualquier piloto familiarizado con las operaciones en nuestro ámbito, en latitudes medias, sabe que ha de contar con su posible aparición en vuelos de baja y media cota durante gran parte del año.

En particular, la abrupta orografía del norte peninsular, con abundancia de aeródromos situados en valles con relativa proximidad a montañas, y a menudo situados entre sierras, hace que la necesidad de mantener una determinada altitud de vuelo se convierta en imposible a partir de la aparición del engelamiento.

El propósito de este artículo es describir el efecto que puede tener en las operaciones de la aviación general en aeropuertos como los de Bilbao, Vitoria o Zaragoza.

## Generalidades

Hay que recordar lo que es el engelamiento estructural, lo que supone para las aeronaves y cuales son las condiciones que se conjugan en su aparición, describiendo como afecta a las operaciones en nuestro entorno el hielo acumulado en el exterior de las aeronaves. Hay que tener en cuenta que el engelamiento interno, aquel que afecta al carburador, tiene un impacto decreciente, al irse imponiendo paulatinamente la inyección en las motorizaciones.

El engelamiento estructural consiste, resumidamente, en el depósito sobre la superficie del avión de agua superenfriada que se congela al contacto con la estructura. Su peligrosidad es notable, tanto por la posible intensidad de su efecto, como por la diversidad de aspectos que pueden verse interesados.

Por un lado, su acumulación altera los perfiles aerodinámicos de la nave afectando a su maniobrabilidad y comportamiento. Además, supone un incremento de peso no calculado sobre los planos y el resto de la estructura.

Por otro lado, su aparición puede bloquear elementos móviles como timones, u obturar orificios de instrumentos primordiales como aquellos dotados de tubos Pitot.

Puede incluso bloquear la toma de presión estática, practicada sobre el plano del fuselaje a 90° sobre el senti-

do de la marcha del avión. Esta última es una posibilidad descrita para los vuelos de aviación general como una contingencia de extrema gravedad ya que esta toma de aire constituye la referencia de presión que afecta, entre otros instrumentos, al propio altímetro. Como efectos añadidos, puede perturbar las comunicaciones al acumularse en las antenas y dificultar la visibilidad a través de los parabrisas.

## Condiciones de aparición

De igual forma que en la lucha contra-incendios se estudia el consabido triángulo del fuego (combustible, oxígeno y fuente de calor), hablando del engelamiento, podríamos referirnos a un hipotético triángulo, en cada uno de sus vértices habría situado un factor con una temperatura por debajo de 0°C.

Por un lado, se requiere la presencia de gotas de agua superenfriadas, esto es, agua en estado líquido con temperaturas por debajo de 0°C que aún no ha cambiado de estado. Su existencia está relacionada con la ausencia en ella de un núcleo de congelación que facilite su cristalización durante el cambio de estado.

Por otro lado, se necesitan temperaturas del aire por debajo de 0°C. De otra forma, el aire aportaría la cantidad de calor necesaria para frustrar el cambio de estado.

En tercer lugar, la superficie sobre la que consideremos el depósito ha de estar a temperatura por debajo de 0°C. En realidad, el fuselaje actúa como núcleo de congelación.

## Factores a considerar

El problema del pronóstico del engelamiento, radica en la complicidad y multipli-

## Tipos de engelamiento

- **Hielo claro:** Formado por gotas grandes a temperaturas negativas próximas a 0°C. Muy peligroso por su dureza, peso, extensión, invisibilidad y dificultad de eliminación. Se dan en nubosidad cumuliforme baja.
- **Hielo granulado:** Formado por pequeñas gotas superenfriadas a temperaturas inferiores a -8°C. Menos peligroso por su localización en los bordes de ataque y su fragilidad. Se da en nubes estratiformes y a alturas medias.
- **Lluvia engelante:** Formado cuando llueve a temperaturas inferiores a 0°C, debajo de nubes y hasta la altura de la Iso 0°C. Es el más peligroso de los efectos por su extensión sobre la estructura y velocidad de acumulación que hace ineficaces todos los sistemas antihielo.

cidad de factores que afectan a cada uno de estos tres vértices del triángulo. Su pronóstico, por lo tanto, habría de incluir el estudio de la existencia de agua superenfriada a niveles en los cuales la temperatura del aire está por debajo de 0°C.

Si quisiéramos conocer la probabilidad de que se pueda dar engelamiento en un lugar determinado debemos, por tanto, tener en consideración estos tres factores: **1.** El *Freezing Level* o Nivel de Engelamiento, definido aeronáuticamente como la altitud de la superficie isoterma de 0°C. Determina la altitud a partir de la cual se dan temperaturas por debajo de 0°C. **2.** La existencia de nubosidad, especialmente si es cumuliforme (constituida por gotas de mayor tamaño), y el nivel de su base, para determinar la presencia de gotas de agua superenfriadas. **3.** La existencia de precipitación en forma de lluvia o chubasco por encima del Nivel de Engelamiento, que propiciaría la aparición, especialmente peligrosa, de lluvia engelante.

**El engelamiento en Bilbao y otros aeropuertos del norte**

Resulta imprescindible aclarar en este punto, cuales son los condicionantes habituales para las aeronaves que operan en el aeropuerto de Bilbao.

Para vuelos hacia aeródromos vecinos como Santander o Fuenterrabía, el condicionante de la altitud (obviados otros que afectan a la visibilidad), no es determinante, dada la proximidad de la costa y la posibilidad de desplazarse hacia el destino siguiendo la misma. Sin embargo, para los frecuentes vuelos al interior, hacia Vitoria, Burgos o Pamplona, las aeronaves deben superar ciertas altitudes para rebasar con seguridad los montes que anteceden a la meseta.

Cualquier vuelo dirigido al sur, en un corto trecho, ha de superar como mínimo los 4500 pies, si no quiera verse en la complicada tesitura de volar siguiendo valles, con una capacidad de maniobra mínima y escasísima seguridad.

Analizando las climatologías y los valores normales del aeropuerto de Bilbao, se puede inferir en qué meses el *Freezing Level* está muy habitualmente por debajo de los 4500ft. Esto ocurre los meses con temperatura media de las mínimas por debajo de los 6°C, correspondiendo al período entre noviembre y marzo, meses con mínimos históricos muy por debajo de este valor, de hasta -8.6°C en el mes de febrero. Corresponden a los meses del año con temperaturas medias diarias por debajo de los 9°C aproximadamente.

Faltaría conocer con qué probabilidad durante este período se da nubosidad cuya base se encuentre por debajo de esta altitud crítica de los 4500 o 5000ft, para los vuelos que se dirijan al interior de la península.

Ciertamente, los datos climatológicos confirman lo esperado, coincidiendo estos meses de noviembre a marzo como los de menor número de horas de sol y más días de

nubosidad. (ver tabla adjunta).

Esta abundante nubosidad durante los meses de invierno, corresponde, en gran medida, a extensas capas de nubes bajas, como refleja el que, desde noviembre a mayo, los días de precipitación mensuales sean, por termino medio, superiores a 15.3, alcanzándose una media de días de precipitación de 16.6 en enero.

Con respecto a otros aeropuertos del norte, como Vitoria o Zaragoza, por citar algunos con ciertas diferencias respecto al anteriormente descrito, podemos llegar a conclusiones algo dispares.

Así, en el caso del Aeropuerto de Vitoria, situado en la vecindad del pueblo de Foronda en Álava, es necesario superar diversos accidentes orográficos para desplazarse en cualquiera de las direcciones cardinales que se considere. Por resumir, hacia el NW, la Sierra de Badaya, con 885 metros, supone una cota de 1200-1300 pies por encima del nivel del Aeropuerto (508 metros s.n.m.). Hacia el N, se han de superar los 1500 pies para acceder con seguridad mínima a los valles que flanquean el Macizo de Gorbea. Hacia el NE, la Sierra de Elguea, Punta Oqueta y demás elementos del los Montes Vascos, condicionan igualmente los accesos a la Cornisa Cantábrica, haciendo necesario elevarse al menos a los 1200 pies si, como es frecuente, los valles no se encuentran afectados por nubosidad baja en forma de estratos. Cabe decir lo mismo de la dirección S, SE y SW gracias a los Montes de Vitoria y los de Iturrieta. En caso de nubosidad baja o muy baja, la cota en cualquiera de los casos anteriormente descritos supondría, como mínimo una altitud de 3500 pies s.n.m. el aeropuerto de Vitoria (lo tomaremos como referencia para considerar la nubosidad observada en este Aeropuerto).

Con respecto a la temperatura, hemos clasificado como de riesgo aquellos meses en los que la temperatura media de las mínimas es menor de 5°C. Aunque la posición del *Freezing Level* en altura no se corresponde a un gradiente vertical fijo, por término medio, con esta temperatura de superficie se encontraría entre los 3000 y los 4000 pies de altura sobre Vitoria, ateniéndonos a los valores de sus temperaturas medias diarias. Esta media correspondería a meses con mínimos históricos bastante más bajos, de hasta -17.8°C en el mes de enero, y estos meses comprenderían el período de noviembre a abril, ambos inclusive.

Con respecto a la nubosidad, los meses de diciembre y enero corresponden a los de menor insolación mensual: 73.3 horas de sol en diciembre y 76.9 en enero, frente a los

	NdD	NdN	NdC
ENE	2	14	15
FEB	2	12	14
MAR	2	14	15
ABR	2	13	15
MAY	2	15	14
JUN	3	15	12
JUL	5	16	10
AGO	4	16	11
SEP	4	16	10
OCT	4	15	12
NOV	3	13	14
DIC	3	13	15

Promedio del número de días con cielo despejado (NdD) nuboso (NdN) y cubierto (NdC) en el Aeropuerto de Bilbao. Fuente AEMET

máximos del verano de 232.5 y 218.6 horas de sol en julio y agosto respectivamente.

Las mayores frecuencias de precipitación se darían en los meses de diciembre a abril, con máximos de 15.7 días de precipitación en abril, aunque la elevada temperatura media en este último haga difícil la aparición de englamiento a bajo nivel con frecuencia.

Las conclusiones en cuanto a fechas de probable aparición y a grado de afectación de las operaciones son bastante similares, a priori, a las que se pueden inferir del caso de Bilbao.

Con respecto a Zaragoza, podemos resumir el análisis notablemente. Fundamentalmente, porque la ausencia de orografía relevante en el entorno para las operaciones, eleva bastante la cota determinante del nivel de englamiento: aproximadamente hasta los 4000 pies sobre el campo.

Al comparar los resultados climatológicos con los referidos a Bilbao y Vitoria, resulta evidente que, si bien las condiciones de temperatura determinarían según el mismo criterio unos resultados análogos, para los meses de noviembre a marzo, con respecto a la nubosidad y precipitación, su presencia es mucho menor, como atestigua sus horas de sol (p.e. 141.9 en enero), y el reducido número de días de precipitación mensuales considerados, menos de la mitad de los presentes en Bilbao, por ejemplo.

### Un par de episodios concretos

Los casos que se presentan a continuación a modo de ejemplo (ver figura de más abajo) ilustran situaciones recurrentes durante los períodos anteriormente mencionados de noviembre y marzo.

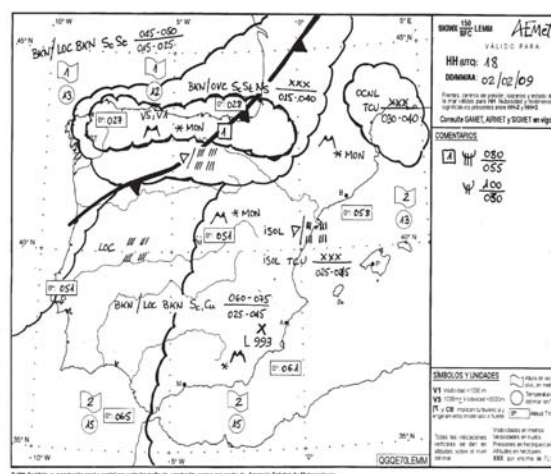
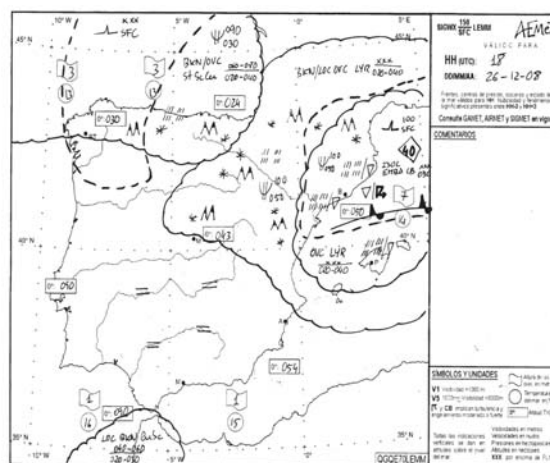
El primero de ellos, referido al 26 de diciembre de 2008, presenta una cobertura de nubes bajas observada para este día de 7 u 8 octavos. Temperaturas en superficie entre 3 y 8°C. Se ha registrado precipitación desde nubes cumuliformes y estratocúmulos.

En la figura se observa la probable aparición de englamiento moderado a partir de los 3000 pies. Por debajo de esta cota, hasta el nivel de englamiento, no se podría descartar la aparición de lluvia engelante bajo la capa nubosa, lo cual constituiría un fenómeno severo.

El 2 de febrero de 2009, con temperaturas en superficie entre los 5 y los 11°C, y una cobertura nubosa estratiforme abundante, con aparición de lluvia y llovizna continuas, la Iso0°C se encuentra a 2800ft, y la cima de las montañas se haya también oscurecida por las nubes.

Para toda el área cantábrica, se definen englamiento moderado a partir de los 3000ft y severo a partir de los 5500ft. De igual forma que en el caso anterior, es más que probable la aparición, a cierto nivel, de lluvia engelante bajo las nubes.

Ambos episodios describen una situación muy recu-



Mapas previstos de fenómenos significativos para la navegación aérea de baja cota para las 18 UTC de días 26/12/08 (arriba) y 2/02/09 (abajo). Fuente: Agencia Estatal de Meteorología

rente a lo largo de los meses entre noviembre y marzo. Es frecuente que se presenten secuencias de tres, cuatro o cinco días en los que el englamiento está presente en diferentes grados a las altitudes que hemos comentado como relevantes para las operaciones en estos aeropuertos.

### El testimonio de los profesionales

Todo lo anteriormente comentado, parte del estudio de las climatologías locales y de las tesis habituales en la bibliografía meteorológica aeronáutica habitual. Pero quizá, como siempre ocurre, lo que pone en valor las afirmaciones técnicas y teóricas, es la constatación empírica de las mismas. En esta ocasión, he recurrido al testimonio de dos profesionales de la aviación, con una amplia experiencia en el vuelo en avión y helicóptero, y con gran conocimiento del entorno al que se refiere este artículo.

Borja Rueda es Ingeniero Industrial y Piloto de Transporte de Líneas Aéreas. Actualmente es Jefe de

Instructores y responsable de Operaciones de la Escuela de Pilotos *Aerolink Air Services*, con sede en Bilbao, por lo que tiene cumplida información acerca de la incidencia del factor del engelamiento.

De acuerdo con lo que el mismo comenta: “Las zonas de vuelo que frecuentamos son la Cornisa Cantábrica, Castilla León el valle del Ebro, Cataluña y la región francesa de Aquitania”.

Según sus palabras, “la mayor amenaza que plantea el engelamiento es la modificación del perfil alar, tanto en los planos como en el estabilizador de cola,” la consecuencia más grave que apunta es que “conlleva una pérdida de la capacidad sustentadora y por tanto el riesgo de llevar al avión a una situación de pérdida aerodinámica”. Para él, “resulta importante distinguir los medios empleados para el deshielo/antihielo en los aviones comerciales de gran tamaño y velocidad respecto de los empleados en aviación general”.

A la hora de describir los medios empleados en vuelo añade “...en los primeros, la mayor altura de vuelo en crucero y la gran velocidad de la aeronave hacen que el engelamiento estructural (planos y góndolas de los motores) sea susceptible de producirse muy rápidamente. Por lo tanto, se requiere una solución igualmente enérgica para combatir el problema. La técnica habitual consiste en *sangrar* aire caliente del compresor de las turbinas que propulsan la aeronave y recircularlo por los bordes de ataque de las superficies aerodinámicas”.

“En aviación general y aviones turbohélices de pequeño tamaño se utilizan otros sistemas antihielo. Los más comunes consisten en un sistema de botas neumáticas instaladas en los bordes de ataque de las superficies aerodinámicas. Estos mecanismos se inflan por presión neumática, de tal manera que rompen la capa de hielo que se va formando en los perfiles. Resulta imprescindible no dejar las botas en la posición de extendidas, ya que de hacerlo así podría formarse hielo también sobre ellas y posteriormente su uso sería completamente inútil”.

Con respecto a las condiciones de engelamiento en el aeropuerto de Bilbao y su entorno, no duda como definir su impacto como importante para la aviación general:

“Desde el punto de vista de la aviación general, y de las escuelas de pilotos en particular, la incidencia del engelamiento en nuestra actividad es importante. Entre los meses de noviembre y marzo encontramos niveles de isocero próximos y en muchas ocasiones inferiores a los mínimos niveles de vuelo en aerovías. Es frecuente que las altitudes mínimas de sector al sur del aeropuerto de Bilbao se encuentren entre los niveles de vuelo FL080 y FL100. Esto supone que, en caso de encontrarse condiciones para el engelamiento de la aeronave, el espacio inferior al que poder descender para buscar aire más cálido se encuentre por debajo del terreno sobre el que estemos volando”.

Un caso especial es el vuelo en helicóptero que, muy a menudo y especialmente en este caso, presenta particulari-

dades importantes. Para ello, he recabado la opinión de Unatz Arenaza, Piloto de Transporte de Líneas Aéreas (PTLA) Instructor de Vuelo (FI) y Examinador de Tipos de Modelo (TRE). Con una amplísima experiencia en la lucha contraincendios, traslados médicos, fotografía aérea, operaciones marítimo terrestres de traslado, en zonas de Europa, África y Estados Unidos, conoce perfectamente de qué forma se ven afectadas las operaciones en helicóptero por el engelamiento.

Con respecto a las consecuencias más importantes sobre este tipo de aeronaves, comenta que “En mi opinión la consecuencia más importante es la no posibilidad de volar en IFR en condiciones que podrían ser de engelamiento”. Además, la forma de depositarse el hielo sobre la estructura difiere con respecto al caso de los aviones: “lo curioso es que el hielo nos aparece en las palas, rompiendo así su perfil aerodinámico y por lo tanto teniendo que descender obligatoriamente”.

Un medio habitualmente descrito para evitar el peligro del engelamiento, implica la variación de la altitud por debajo o, muy habitualmente, por encima del rango de altitudes peligroso. En el caso del helicóptero puntualiza: “no podemos hacer otra cosa que descender, ya que tampoco estamos presurizados y no podemos ascender a mucha altitud”. Con respecto a de qué forma les afecta: “En nuestro trabajo en Bilbao, no nos afecta demasiado, ya que mantenemos unas alturas muy bajas (1000 pies). El problema es que en invierno, si hay que volar en IFR a una altura de 7000 pies, lo más probable es que te encuentres en engelamiento”.

Los helicópteros no cuentan con la misma posibilidad técnica de combatir la acumulación de hielo en su estructura, como se deduce de las afirmaciones anteriores. Unatz lo confirma con la siguiente afirmación: “En mi vida profesional nunca me he encontrado un helicóptero que estuviese certificado para el vuelo en condiciones de engelamiento. Aunque sí sé que hay algún que otro modelo certificado para ello”.

### Bibliografía

- Winter flying.** 2009. Documento informativo de la *Civil Aviation Authority* (UK).
- Theoretical knowledge manual: Meteorology.** 2001 *Oxford Aviation Services Ltd.*
- Curso MetEd/COMET-UCAR.** Pronóstico de intensidad y tipo de engelamiento en el avión.
- Airframe and engine icing.** 2009. *Recreational Aviation Australia Journal.*
- Blanca González López.** 2005. *Meteorología Aeronáutica.* AVA Ediciones.
- AEMET.** Climatologías de los Aeropuertos de Bilbao, Vitoria y Zaragoza.