

# El Englamiento de los Aviones

(Sus causas, peligros y modos de evitarlo)

JOSÉ LUIS DE BRIONES VIEJOBUEÑO,  
Licenciado en Ciencias Exactas y Físicas. Meteorólogo

**S**e llama "englamiento" a la formación de un depósito de hielo sobre la estructura de un avión o sobre ciertas partes del mismo. El englamiento puede producirse sobre el avión en vuelo o parado en el suelo. Es éste un fenómeno de peligrosidad muy variable, que puede en ocasiones impedir el vuelo de diversos tipos de aviones cuando la situación atmosférica es apta para producir englamiento sobre regiones extensas.

Para que se deposite hielo es necesario que agua líquida a temperaturas inferiores al punto de congelación se ponga en contacto con el casco del avión. Es debido a que en las nubes existen gotillas de agua sobreenfriadas, a temperaturas comprendidas entre  $0^{\circ}\text{C}$  y  $-25^{\circ}\text{C}$ . A temperaturas inferiores a esta última las nubes tienden a transformarse en nubes de hielo, aunque a veces se han encontrado nubes de agua sobreenfriada a  $-41^{\circ}\text{C}$ .

Cuando un avión entra en una nube de agua sobreenfriada las gotillas con las que choca se congelan, depositándose sobre las partes delanteras de la estructura, tales como el morro del fuselaje, las vitrinas delanteras del puesto de pilotos, los bordes de ataque de las alas y de los planos de cola, etc.

A continuación consideramos los tres tipos de englamiento

que pueden producirse, así como el detalle de englamiento de la estructura del avión y de los órganos accesorios de los motores.

El casco de los aviones puede enfriarse por debajo de  $0^{\circ}\text{C}$  a causa de la evaporación forzada de las gotillas depositadas sobre el, pero también puede calentarse por efecto del rozamiento con el aire. A velocidades inferiores a  $700\text{ km/h}$  (unos  $400$  nudos), ambos efectos se compensan y se toma como índice térmico la temperatura del aire libre.

La congelación de las gotillas sobreenfriadas se produce de diversas formas, según el tamaño y la temperatura de las gotillas. Gotillas más grandes, con temperaturas entre  $0^{\circ}\text{C}$  y  $-10^{\circ}\text{C}$  se congelan menos de prisa, debido al calor de fusión liberado por las partes líquidas que se van congelando; por el contrario, gotillas más pequeñas y más frías se congelan instantáneamente.

## Tipos de englamiento

1. *Escarcha o helada*: Es el depósito de una delgada capa cristalina de hielo que se produce cuando el avión vuela en una atmósfera despejada y húmeda y la temperatura del casco del avión está bajo  $0^{\circ}\text{C}$ . Es producida por la solidificación



FOTO: EDUARDO ZAMARRIPA

del vapor de agua del aire sobre la superficie fría. También se puede producir sobre el avión en el suelo en noches despejadas con viento encalmado, cuando el avión se enfría por radiación por debajo de  $0^{\circ}\text{C}$ . Aunque la helada no se considera muy peligrosa, debe eliminarse del avión antes de iniciar un despegue, ya que puede modificar la corriente de aire alrededor de las alas, aumentando la velocidad de flotación (o velocidad de despegue), lo que exige un mayor recorrido de pista. Además, la helada en las vidrieras delanteras del puesto de pilotos puede afectar a la visibilidad; de todos modos, deben examinarse con cuidado los órganos de mando del avión, para asegurarse de su fácil y completo movimiento, de los timones y alerones. Por últi-



mo, si la antena exterior ha cogido también escarcha, se producirá interferencias en las comunicaciones radioeléctricas.

Un caso especial de formación de escarcha en vuelo es cuando el avión vuela desde una masa de aire muy frío a otra de aire templado y muy húmedo; si se continúa el vuelo en esta última la escarcha que se forma al principio se derrite y desaparece rápidamente; la pérdida transitoria de visibilidad puede ser peligrosa.

También puede producirse escarcha en el interior de las vidrieras del puesto de pilotos, que debe combatirse rápidamente con calor, por la peligrosa pérdida de visión que produce, sobre todo si se vuela a baja altura.

**2. Cencellada o hielo blando:** Es un depósito de hielo blanco, opaco y de aspecto granular. Se forma por la congelación instantánea de gotillas muy pequeñas y muy frías, que al congelarse se ocluyen partículas de aire, por lo que son blancas y opacas, al chocar con la superficie expuestas del avión a temperaturas inferiores a 0° C.

Debido a su congelación instantánea conservan su forma esférica y se adhieren débilmente entre sí, por lo que el hielo es fácilmente quebradizo. Tiende a formarse sobre los bordes de ataque de las alas, alerones, planos de cola, antenas exteriores y bordes de las tomas de aire.

El intervalo de temperaturas en que se forma hielo blando es de -10° C a -40° C y las goti-

llas reponsables de la cencellada se encuentran en los estratos a las temperaturas indicadas; a veces también en los cúmulos se puede producir cencellada.

Los principales riesgos debidos al hielo blando son la distorsión de las líneas de corriente del flujo de aire y la consiguiente pérdida de rendimiento aerodinámico de las alas y la obstrucción de las tomas de aire, bloqueando el tubo de Pitot, el Venturi y las entradas de presión estática. Debido a su fragilidad, es fácil eliminarlo con métodos desengelantes teniendo en cuenta que al obstruir el tubo de Pitot deja de funcionar el altímetro y el velocímetro.

Este tipo de englamamiento es el más frecuente.

**3. Lluvia helada o hielo claro:** Es una capa de hielo transparente y de gran adherencia, lisa o ligeramente ondulada, que se forma en los bordes de ataque de las alas, en el morro del fuselaje y otras partes, extendiéndose lentamente sobre los planos expuestos, sin alterar grandemente el perfil aerodinámico.

Se forma con gotillas a una temperatura de 0° C a -6° C (la temperatura puede ser tanto más baja cuanto mayor sea la gotilla). Al chocar con la estructura se congela una parte, la restante adquiere la temperatura de 0° C, se extiende y se va congelando paulatinamente; sobre las alas aumenta el peso del avión, pero sobre las antenas y los planos de cola es muy peligroso este tipo de englamamiento.

Se produce corrientemente en nubes cumuliiformes, que suelen tener gruesas gotillas sobrenfriadas un poco por encima del nivel de 0° C.

Un caso muy peligroso es cuando el avión vuela a través de lluvia o llovizna sobreenfriada (lluvia prefrontal cálido) que recibe el nombre de *lluvia helada* y que en breves segundos puede

envolver el avión en una capa de *hielo claro*.

La lluvia helada es también muy peligrosa en las pistas de aterrizaje porque forma una capa de hielo muy resbaladiza y es muy difícil el aterrizaje en estas condiciones.

Como ya hemos dicho, la lluvia helada puede producirse debajo de un frente cálido o detrás de un frente frío.

### **Efectos de la temperatura del aire**

A altitudes en que la temperatura del aire es inferior a  $-40^{\circ}\text{C}$  no hay prácticamente riesgo de engelamiento.

Por debajo de  $-25^{\circ}\text{C}$  el peligro de engelamiento es muy pequeño y solo del tipo *hielo blando*.

Entre  $0^{\circ}\text{C}$  y  $-10^{\circ}\text{C}$  es grande el peligro de *hielo claro* y hay que tomar precauciones, poniendo en funcionamiento los dispositivos desenglamantes.

### **Las nubes y el engelamiento**

Cúmulos y grandes cúmulos con sus bases a temperaturas próximas a  $0^{\circ}\text{C}$  pueden producir hielo claro (o hielo duro, como también se llama) en plazos muy breves. Sin embargo, como las nubes aisladas tienen una extensión horizontal de 20 a 30 kilómetros, la cantidad de hielo captada es pequeña o bien pueden ser esquivadas fácilmente.

Si, por el contrario, el avión permanece deliberadamente dentro de la nube o sigue una línea de grandes cúmulos paralelos a su línea frontal, el problema de engelamiento se vuelve serio.

En cuanto al hielo blando ya hemos dicho que se produce en el interior de los estratos y altostratos (salvo los nimbostratos), los cuales suelen tener un espesor menor de 2.500 metros (unos 7.000 pies), de modo que este riesgo de engelamiento puede evitarse fácilmente.

### **El avión y el engelamiento**

La cantidad de hielo que recoge un objeto es, evidentemente, tanto mayor cuanto mayor sea su velocidad, ya que cuanto más de prisa vaya, tantas más gotillas encontrará en la unidad de tiempo. Sin embargo, los aviones muy rápidos recogen en general poco hielo, en parte porque atraviesan la zona engelante en un tiempo muy breve y en parte por el calentamiento cinético de la estructura del avión.

También depende el engelamiento de la forma y tamaño del objeto: objeto delgados como antenas, tubos de Pitot y de Venturi, tirantes, se engelan más de prisa que el morro del fuselaje.

El calentamiento cinético es debido en parte a la compresión adiabática del aire en los bordes de ataque de las alas y en el morro del fuselaje, y en parte al rozamiento del aire con todo el fuselaje. Cuanto más veloz es el avión mayor es el calentamiento cinético, por ejemplo, con una velocidad de 900 Km/h (500 nudos) el calentamiento puede llegar a  $+25^{\circ}\text{C}$ .

### **Efectos del engelamiento sobre la estructura del avión**

La acumulación de hielo sobre las alas y los planos de cola alteran el flujo de aire alrededor de las superficies aerodinámicas y además pueden bloquear el movimiento de alerones y timones. El resultado es una pérdida de sustentación y un aumento de la resistencia al avance, lo que exige una velocidad mínima de flotación mayor. El peso del hielo depositado presenta menos peligro, aunque también puede volverse importante si se pierden bastante sustentación y empuje.

Experimentos en túnel de viento han demostrado que una capa de hielo de 1 centímetro de espesor en el borde de ataque de una lámina aerodinámica reduce la sustentación en un 50 por ciento, aumenta la resis-

tencia al avance en una proporción semejante y aumenta notablemente la velocidad mínima de flotación.

En los helicópteros la acumulación de hielo en las aspas es extremadamente peligrosa debido a la reducción de sustentación y a los desequilibrios producidos por una distribución desigual del hielo.

En las hélices el hielo se acumula en el borde de ataque de las aspas y en el cubo de la hélice, lo cual disminuye el rendimiento de la hélice, que a su vez disminuye la velocidad del avión. Aumentar la potencia del motor puede no producir una tracción suficiente para mantener la velocidad del avión, ocasionando además un consumo excesivo de combustible.

Un peligro mucho mayor es el debido a las vibraciones de la hélice, que ha sido equilibrada muy delicadamente, al producirse depósitos irregulares de hielo en las aspas. Hélices muy rápidas son menos susceptibles al engelamiento que otras que giren más despacio; además, el engelamiento empezará antes sobre el cubo de la hélice.

Cuando el avión tiene depósitos auxiliares de combustible en los extremos de las alas, el hielo se deposita primero sobre ellos, que son buenas superficies colectoras de gotillas; el resultado es un aumento de resistencia del avión al avance.

El engelamiento del tubo de Pitot, del Venturi y de las tomas de aire de presión estática es muy peligroso porque dejan de funcionar el altímetro (barómetro) y el velocímetro y si el avión dispone de instrumentos giroscópicos movidos por el viento, éstos dejan de funcionar. Cuando se observe el engelamiento en cualquier parte de la estructura del avión, debe sospecharse el engelamiento de las entradas de presión estática.

El engelamiento de las antenas produce interferencias y puede aún anular las radiocomunicaciones con los Centros

de Control de Área necesarias para cambiar de nivel de vuelo; además pueden romperse por el peso del hielo y golpear el fuselaje.

La formación de hielo o escarcha en los parabrisas delanteros o en las ventanas laterales es frecuente en los despegues y aterrizajes, aunque puede producirse también durante el vuelo; esto último puede ser tolerado por un piloto en vuelo IFR, hasta el momento de aterrizaje cuando es, evidentemente, necesario el contacto visual con la pista.

### **Métodos desengelantes y antiengelantes**

Muchos aviones de todo tipo tienen elementos que impiden el engelamiento y otros que eliminan el engelamiento producido.

Por ello el piloto, cuando va a volar con un avión nuevo para él, deberá enterarse con seguridad de los equipos antihielo que tiene el avión. De todos modos, estos elementos no siempre garantizarán la solución de todos los problemas planteados por el engelamiento, por ello es un buen consejo que, salvo que sea urgente llegar a destino, se evite el vuelo en situaciones de engelamiento.

**Métodos mecánicos:** En estos métodos se envuelven los bordes de ataque de las alas y planos de cola con una lámina muy fina de goma; inyectando pulsos sucesivos de aire comprimido, las sucesivas dilataciones de la goma despegan y fragmentan las capas de hielo, que a continuación son arrastradas por el viento. Este es un método desengelante.

**Método fluido:** Es un método antiengelante para proteger las hélices y órganos giratorios. Desde la raíz de las aspas se deja fluir un líquido que, por la fuerza centrífuga se extiende por la superficie de las mismas, impidiendo que el hielo se adhiera y

así la misma fuerza centrífuga lo expulsa.

**Método del calor:** Método esencialmente anticongelante. Las superficies más expuestas al engelamiento son calentadas eléctricamente o mediante un flujo de aire caliente procedente del colector de escape de los motores o del compresor de las turbinas. El tubo de Pitot y las entradas de presión estática deben calentarse eléctricamente.

### **Engelamiento de los motores**

**Turbopropulsores y turbo-reactores:** El combustible de las turbinas puede absorber agua cuando la humedad del aire es grande; cuando se vuela en una atmósfera fría, puede producirse el engelamiento del sistema combustible si la temperatura de éste desciende bajo el punto de congelación del agua. La calefacción de los depósitos, ya sea eléctricamente o mediante aire caliente, elimina este problema.

En una situación favorable para el engelamiento del fuselaje puede depositarse hielo en las entradas de aire y en el cubo del eje del compresor; también puede depositarse hielo blanco (escarcha) en aire despejado y muy húmedo, a temperaturas inferiores a  $+10^{\circ}\text{C}$ . Esto produce una disminución muy notable de la entrada de aire con las consecuencias de una gran pérdida de potencia y una elevación peligrosa de la temperatura, con el peligro de fuego en las turbinas.

El engelamiento se combate aplicando calor en los lugares críticos, pero si se pone en funcionamiento demasiado tarde se pueden desprender trozos de hielo que, al penetrar en el compresor pueden producir grandes destrozos en los álabes, si se trata de compresores axiales.

Con vuelo rápido el calentamiento cinético reduce notablemente el riesgo de engelamiento.

**Motores de explosión:** En los motores de explosión hay un punto muy sensible, que es el carburador y la tubería de entrada de aire. Es un tipo de engelamiento especialmente peligroso porque puede producirse a temperaturas bastante superiores a  $0^{\circ}\text{C}$  y no puede observarse visualmente.

La razón de este engelamiento es que todo carburador funciona como una pequeña máquina frigorífica: Por un lado el aire experimenta una expansión adiabática al atravesar la válvula mariposa y, por otro lado, la gasolina pulverizada se volatiliza tomando el calor de evaporación del aire. Así, la temperatura del aire que atraviesa el carburador puede bajar hasta  $30^{\circ}\text{C}$  y, si el aire está muy húmedo, se produce escarcha en la tubería que atraviesa el carburador; esto equivale a un cierre parcial de la válvula mariposa con la pérdida consiguiente de la potencia del motor y bajada del régimen de revoluciones.

La expansión adiabática del aire es poco importante, con un enfriamiento que no sobrepasa los  $3^{\circ}$  o los  $4^{\circ}\text{C}$ . Es notable cuando la mariposa va medio cerrada, durante largos descensos o en aterrizaje forzados.

El precalentamiento del aire de adición mediante una derivación del colector de escape es un método antiengelante eficaz; sin embargo, el piloto debe tener en cuenta el riesgo de engelamiento cuando la temperatura del aire húmedo es inferior a  $+0^{\circ}\text{C}$  y adelantar el precalentamiento, ya que si lo aplica tardíamente puede resultar inútil: si el motor ya está perdiendo potencia el calor suministrado al elemento calefactor puede ser insuficiente para deshelar los tubos y el motor continuará perdiendo potencia (y bajando el régimen de vueltas). Por otra parte, el precalentamiento del carburador en aire muy seco puede recalentar el motor. ■