

BOLETÍN DE SEGURIDAD OPERACIONAL

Documento elaborado en colaboración con el **Servicio Meteorológico Nacional**



Modo: Aeronáutico

Formación de hielo en vuelo:

CAUSAS Y EFECTOS SOBRE LA ESTRUCTURA DEL AVIÓN Y SU PERFORMANCE



Índice

1. INTRODUCCIÓN	3
2. FACTORES CONTRIBUYENTES	3
2.1. Temperatura	4
2.2 Humedad	5
2.3.Tamaño de la gota.....	6
3. CONDICIONES	7
3.1. Inversión de temperatura	7
3.2. Proceso de colisión y coalescencia	8
4. NUBOSIDAD	8
5. EFECTOS DEL TERRENO	9
6. TIPOS DE HIELO	10
7. EFECTOS DEL HIELO EN LA PERFORMANCE DE LA AERONAVE	12
8. IMPACTO DEL DISEÑO DE LAS AERONAVES EN LA FORMACIÓN DEL HIELO	13
9. PLANIFICACIÓN DE LA RUTA DE VUELO	14
10. RECOMENDACIONES Y BUENAS PRÁCTICAS	15
11. CONCLUSIONES	18
12. DOCUMENTOS ÚTILES	19

1. INTRODUCCIÓN

Durante el vuelo, la formación de hielo en partes de la aeronave ocurre cuando sus superficies entran en contacto con gotas que contienen agua por debajo del punto de congelación, conocidas como agua sobreenfriada (supercooled water). El hielo acumulado en superficies aerodinámicas altera sus propiedades, disminuye la sustentación y aumenta la resistencia a un ángulo de ataque. En el caso de una pala de hélice, el hielo reduce su eficiencia y su capacidad de empuje, lo que puede afectar de manera significativa el rendimiento de la aeronave. Además de los efectos aerodinámicos, el peso adicional del hielo acumulado aumenta la carga total de la aeronave. La combinación de estos efectos lleva a la necesidad de aumentar el ángulo de ataque para mantener la sustentación, lo que puede resultar en una entrada en pérdida a velocidades más altas.

Este documento está dirigido principalmente a pilotos y tripulaciones (que operan en ámbitos privados, comerciales, corporativos, de taxi aéreo o de carga, ya sea en aeronaves de ala fija o rotativa) encargados de tomar decisiones operativas durante vuelos en condiciones propensas a la formación de hielo; independientemente de si la aeronave está o no equipada con sistemas de deshielo o antihielo.

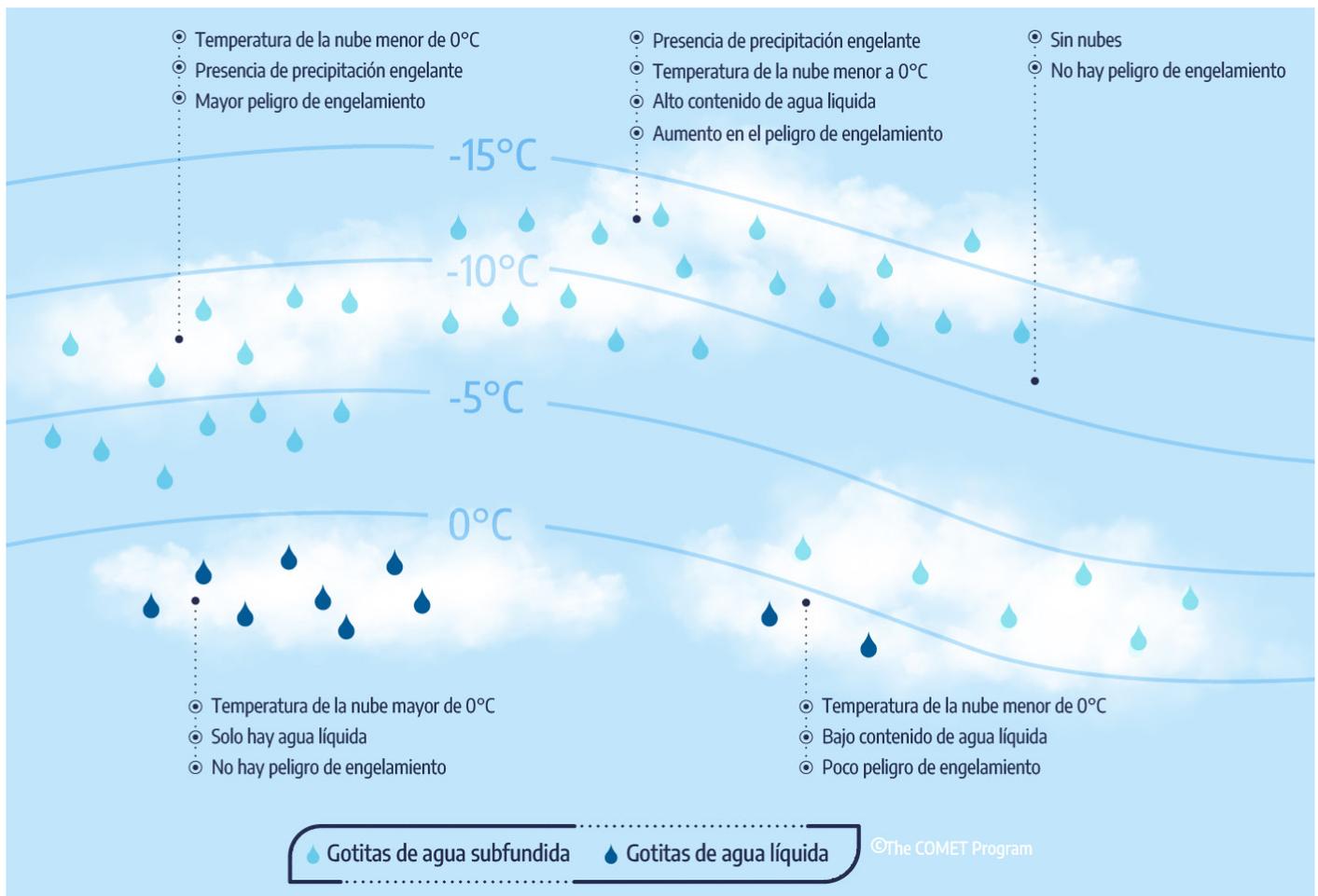
2. FACTORES CONTRIBUYENTES

El engelamiento se refiere al depósito o formación de hielo en una aeronave y se produce cuando el agua líquida subfundida o sobreenfriada (a una temperatura menor a 0°C) se congela al impactar contra su fuselaje. El engelamiento puede afectar a una aeronave en vuelo, sin embargo, la intensidad y tipo de engelamiento dependen de varios factores: la concentración de gotitas de agua líquida sobreenfriada dentro de la nube (gramos de agua por m³ de nube), el tamaño de esas gotitas y la temperatura. Este fenómeno no se da solo en temporada invernal pero es ahí donde el riesgo de que esto ocurra aumenta notoriamente.

Una condición meteorológica propicia para su generación es la precipitación con temperaturas cercanas a 0°C donde un repentino descenso de temperatura en la pista puede congelarla y dificultar las maniobras para el despegue. Además, durante la fase inicial de ascenso con nubosidad y una isoterma de 0° muy cercana a la superficie, existe la posibilidad de engelamiento.



Figura 1. Presencia de agua en distintos estados y probabilidad de formación de hielo.



Fuente: *Engelamiento y bajas temperaturas. SMN (2022). Revista FADA Express (N°8).*

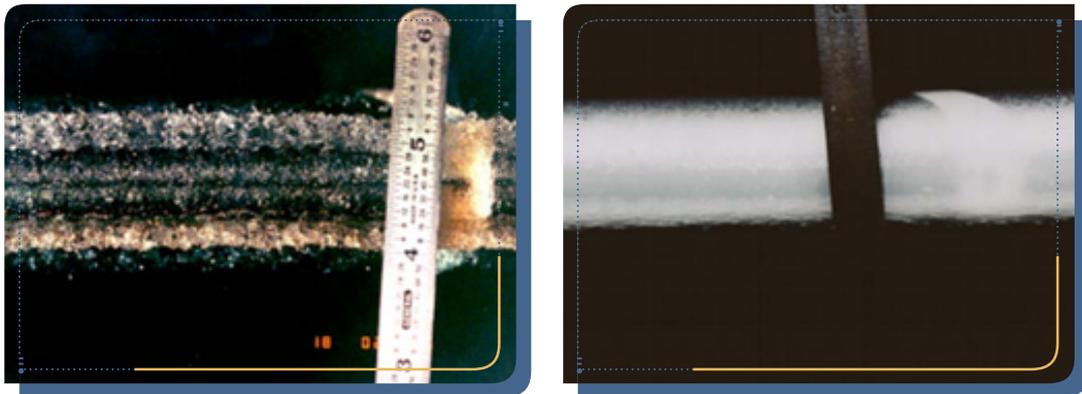
2.1. Temperatura

El engelamiento es más frecuente cuando la temperatura estática del aire se encuentra entre 2°C y -20°C , sin embargo, también se puede producir desde los 5°C hasta -40°C .

El hielo más peligroso tiende a formarse en nubes cumuliformes a temperaturas entre 0°C y -12°C ; comienza con el impacto de la gota sobreenfriada contra el borde de ataque y se desplaza hacia atrás del perfil alar y gradualmente se congela hasta formar una capa de hielo sólido similar a unos cuernos, llamada hielo claro o glaseado (*clear o glaze ice*).

Con temperaturas más frías, las gotas sobreenfriadas se acumulan apenas impactan en el borde de ataque y forman una cuña que se denomina hielo opaco (*rime ice*).

Figura 2. Temperatura estática del aire a -5°C y a -10°C .



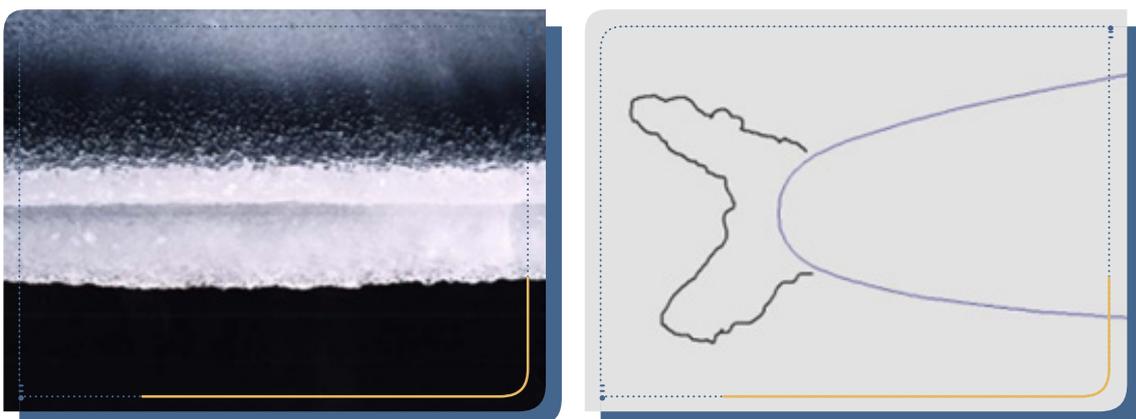
Fuente: NASA Aircraft Icing Training.

2.2 Humedad

Para que el hielo se acumule en las superficies de la aeronave debe haber suficiente agua en estado líquido en el aire (visible en forma de nubes densas o precipitación líquida). El agua en otros estados, como vapor, nieve o hielo, generalmente no se adhiere a las superficies externas de la aeronave.

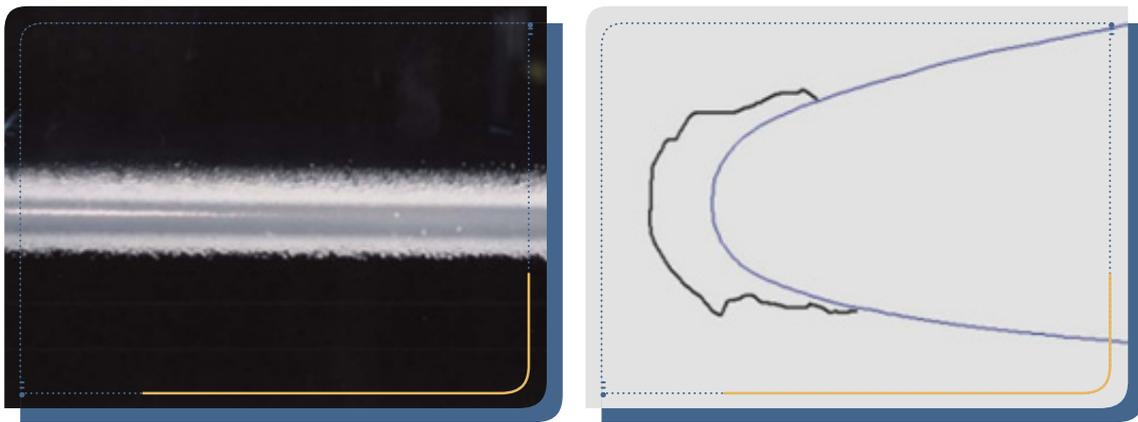
La cantidad de agua disponible en una nube se mide en masa de agua por volumen de aire (g/m^3) y cuanto más haya, mayor será la rapidez con la que se acumulara el hielo en las superficies de la aeronave.

Figura 3. Nube densa, humedad $1.25 \text{ g}/\text{m}^3$.



Fuente: NASA Aircraft Icing Training.

Figura 4. Nube delgada, humedad 0,31 g/m³.



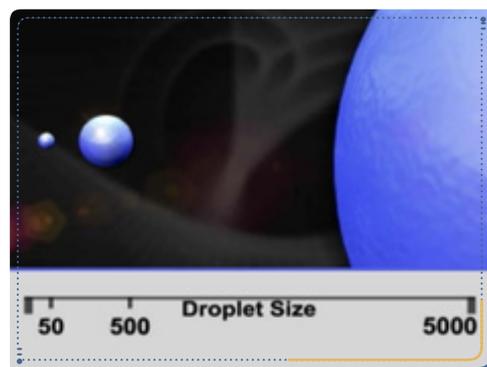
Fuente: NASA Aircraft Icing Training.

2.3. Tamaño de la gota

Cuanto mayor sea el tamaño de la gota sobreenfriada, más fácilmente atravesará el flujo de aire sobre las superficies de la aeronave e impactará moviéndose hacia atrás formando, una capa de hielo. Esto ocasionará una pérdida de performance y maniobrabilidad de la aeronave.

Estas gotas pueden tener un diámetro hasta 100 veces mayor que el de una gota de agua normal.

Figura 5. Nube delgada, humedad 0,31 g/m³.



Fuente: NASA Aircraft Icing Training.

La llovizna y lluvia engelante (*freezing drizzle/rain*) son formas de gotas sobreenfriadas cuya información se debe tener en cuenta en los pronósticos. Estas gotas se encuentran en bandas de menos de 3000 ft de espesor y pueden observarse desde la superficie hasta los 12000 ft de altitud. Hay que tener en cuenta que esta altitud puede ser superada en algunos casos.

El tamaño de estas gotas es tan grande que pueden golpear las superficies de la aeronave y acumularse detrás de los sectores con sistemas de protección de hielo (*runback ice*), de manera tal que solo pueden ser removidas por un proceso de derretimiento gradual mediante sublimación.

Figura 6. Acumulación de hielo en detrás de sectores con protección.



Fuente: NASA Aircraft Icing Training.

3. CONDICIONES

Para la formación de las gotas sobreenfriadas se deben presentar dos condiciones:

3.1. Inversión de temperatura

Normalmente, la temperatura del aire disminuye con la altitud, sin embargo, en ocasiones se forma una capa de aire más cálido por encima de la capa superficial, lo que ocasiona una inversión térmica. Este fenómeno frecuentemente está asociado a los frentes calientes y a los frentes estacionarios.

Figura 7. Efecto de inversión de temperatura.



Fuente: NASA Aircraft Icing Training.

La nieve que se forma en los topos de la nube comienza a caer y al atravesar la capa más caliente comienza a descongelarse, pero como vuelve a encontrar una capa más fría por debajo, se vuelve a congelar formando las gotas sobreenfriadas.

3.2. Proceso de colisión y coalescencia

Este proceso tiende a formar llovizna engelante (freezing drizzle) y se produce cuando las gotas dentro de una nube chocan entre sí y se fusionan para formar gotas de mayor tamaño. Este fenómeno suele ocurrir en nubes con topos debajo de los 12.000 pies de altitud y con temperaturas mayores a -12°C .

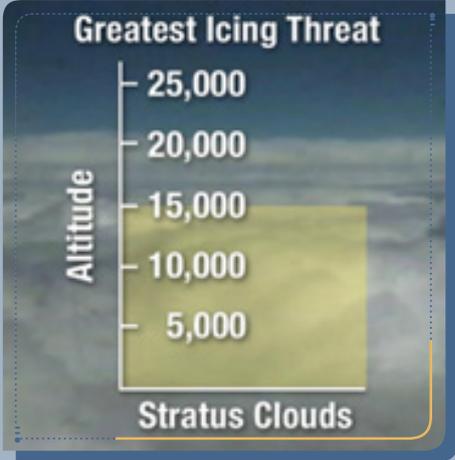
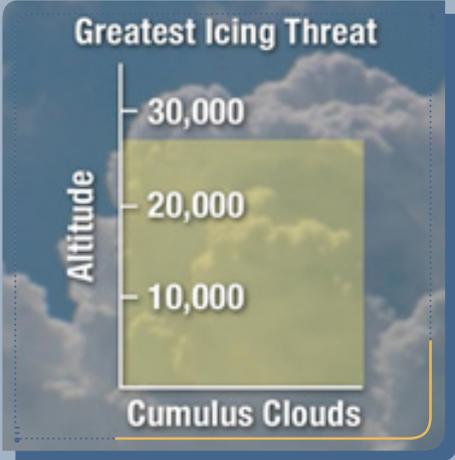
4. NUBOSIDAD

Las condiciones de formación de hielo se presentan cuando el aire húmedo asciende hacia capas con temperaturas más frías. Las condiciones de hielo suelen ser más intensas cerca de los topos nubosos, donde el contenido de agua, el enfriamiento y la condensación son mayores.

El tipo de nubes puede proporcionarnos una idea de la estabilidad de la masa de aire y del tipo y severidad de la probable formación de hielo.

Tabla 1.

	NUBOSIDAD ESTRATIFORME	NUBOSIDAD CUMULIFORME
Características principales	Varias capas en una misma zona a diferentes altitudes. Algunas capas pueden contener gran cantidad de agua en estado líquido.	Gran desarrollo vertical y poca extensión horizontal. Las condiciones de formación de hielo son por cortos períodos pero de gran intensidad.
Intensidad de formación de hielo	Moderada, generalmente constante.	Alta intensidad en períodos cortos.
Formación de hielo	En capas específicas.	Atraviesa varios niveles de vuelo.

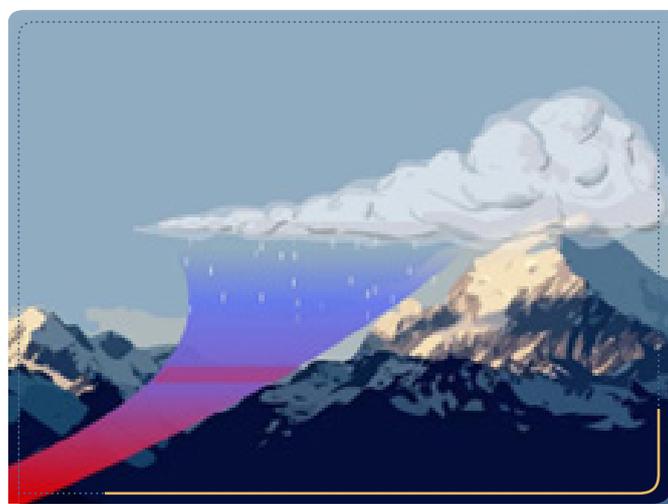
	NUBOSIDAD ESTRATIFORME	NUBOSIDAD CUMULIFORME
Altitud y espesor	<p>Altitud por debajo de los 15.000 pies.</p> <p>Espesor hasta 3.000 pies.</p> 	<p>Altitud por debajo de los 27.000 pies.</p> <p>Extensión horizontal de 2 a 6 millas náuticas.</p> 

5. EFECTOS DEL TERRENO

En terrenos donde la dirección e intensidad del viento obliguen al aire húmedo a ascender por la ladera de una sierra o montaña hasta altitudes con bajas temperaturas, la posibilidad de formación de hielo es alta. La probabilidad aumenta si la ruta de vuelo atraviesa la línea montañosa o si se vuela a lo largo de la ladera donde enfrenta el viento.

El terreno montañoso limita las opciones para salir de las condiciones de formación de hielo, ya que en algunas áreas puede no ser posible un descenso para evitar la zona de hielo.

Figura 8. Efectos del terreno y formación de hielo.



6. TIPOS DE HIELO

Tabla 2.

Tipo de hielo	Características principales	Condiciones de formación
<p>Hielo claro (<i>clear ice</i>)</p> 	<p>Textura lisa y cristalina, difícil de identificar visualmente</p> <p>Alta capacidad de adherencia</p> <p>Se concentra rápidamente</p> <p>Más peligroso, afecta superficies críticas</p> <p>Dificultad para los mecanismos anti-icing¹ y de-icing²</p>	<p>Gotas sobreenfriadas</p> <p>Nubes convectivas con alta concentración de agua</p> <p>Lluvia o llovizna engelante, niebla engelante, efecto humedad por enfriamiento</p> <p>Rango de temperatura 0°C a -12°C (más probable entre 0°C a -10°C)</p>
<p>Hielo opaco (<i>rime ice</i>)</p> 	<p>Textura granular, porosa y opaca</p> <p>Color blanco</p> <p>Baja capacidad de adherencia, se desprende con facilidad</p> <p>Menos peligroso</p>	<p>Gotas sobreenfriadas pequeñas</p> <p>Nubes estratiformes</p> <p>Rango de temperatura 0°C a -20°C (más probable cerca de -20°C)</p>
<p>Hielo mixto (<i>mixed ice</i>)</p> 	<p>Mezcla de hielo claro y opaco</p> <p>Acumulación desigual de hielo</p> <p>Similar al hielo claro en peligrosidad</p>	<p>Variación en el tamaño de las gotas</p> <p>Gotas líquidas mezcladas con nieve o partículas de hielo</p> <p>Rango de temperatura varía según las condiciones mixtas de formación</p>

1- Anti-icing es el proceso mediante el cual se previene la formación y acumulación de la escarcha, la nieve, el hielo o el aguanieve de las distintas superficies de la aeronave.

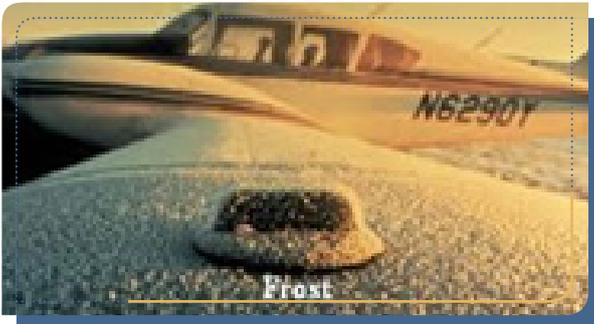
2- De-icing es el proceso mediante el cual se elimina la escarcha, la nieve, el hielo o el aguanieve de las distintas superficies de la aeronave.

Tipo de hielo

Características principales

Condiciones de formación

Escarcha (frost)



Este tipo de formación de hielo tiene un efecto menor en el vuelo pero puede reducir la visión al cubrir el parabrisas e interferir en las comunicaciones, al cubrir con hielo las antenas de radio

En aire claro por el fenómeno de depósito de vapor de agua, es decir, el pasaje de estado gaseoso a sólido (sublimación)

Cuando una aeronave desciende abruptamente de un nivel con temperatura menor a 0°C a otro nivel con temperaturas mayores y con alto contenido de humedad

Severidad

La severidad de la formación del hielo en vuelo se clasifica en cuatro niveles a partir de la consideración del tiempo de exposición, de la cantidad de hielo acumulado y del efecto que tiene esa acumulación en la aeronave.

Tabla 3.

Niveles de severidad

Muy leve (trace icing)

Se percibe una leve formación de hielo.



Leve (light icing)

La acumulación de hielo es muy poca en un tiempo considerable (aprox. 6 milímetros en 15 a 60 minutos), lo que requiere el uso ocasional de los sistemas de protección.



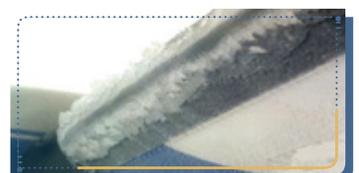
Moderada (moderate icing)

El tiempo de acumulación es menor que la categoría leve (aprox. 6 milímetros en 5 a 15 minutos), lo que requiere el uso frecuente de los sistemas de protección. Este nivel de acumulación de hielo puede presentar problemas de control de la aeronave en cortos períodos.



Severa (severe icing)

El tiempo de acumulación es tan corto que los sistemas de protección pueden no evitar la formación del hielo en las superficies de la aeronave (aprox. 6 milímetros en menos de 5 minutos).



La severidad de la formación de hielo en vuelo depende mucho del tipo de aeronave. Una aeronave lenta (ya sea en ascenso, descenso o vuelo nivelado) tardará más tiempo en atravesar un área de formación de hielo que una aeronave más rápida, por consiguiente el tiempo de exposición será mayor.

7. EFECTOS DEL HIELO EN LA PERFORMANCE DE LA AERONAVE

Cuando la aeronave se contamina con hielo acumulado en sus superficies, su performance se degrada en varios aspectos:

- Disminuye su capacidad de ascenso
- Disminuye su velocidad de crucero
- Disminuye el techo de servicio
- Aumenta la velocidad de pérdida
- Disminuye la performance para una aproximación frustrada
- Aumenta el consumo de combustible por lo que disminuye su autonomía

La mayor degradación de performance ocurre en los primeros minutos de acumulación de hielo. La exposición a hielo claro durante dos minutos podría llevar al doble el coeficiente de resistencia, reducir la sustentación máxima en un 25 a 30% y disminuir el ángulo de ataque de entrada en pérdida en unos 8° (una velocidad de pérdida más alta). Un ala contaminada con una fina película de hielo cubriendo el borde de ataque o extradós del ala puede incrementar la velocidad de pérdida hasta 15 nudos.

Figura 9. Efectos en la resistencia.

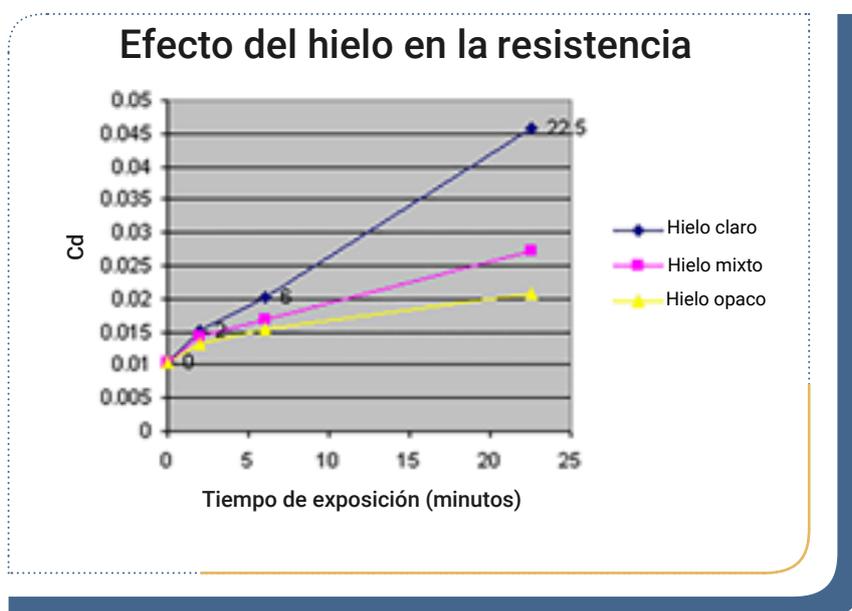
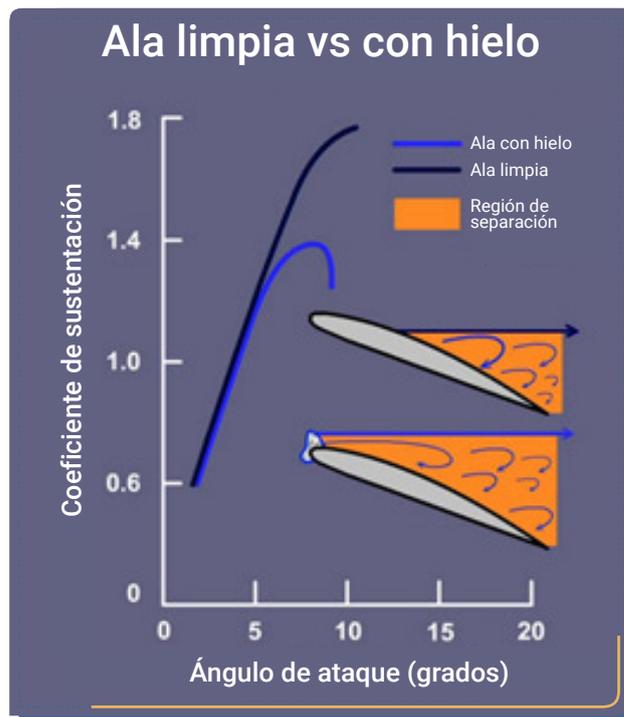


Figura 10. Efectos en la sustentación.



Fuente: NASA Aircraft Icing Training.

8. IMPACTO DEL DISEÑO DE LAS AERONAVES EN LA FORMACIÓN DEL HIELO

Tabla 4.

ASPECTO DEL DISEÑO	EFFECTOS EN LA FORMACIÓN DE HIELO Y AERODINÁMICA
Tamaño de la Aeronave	Las aeronaves grandes acumulan -proporcionalmente- menos hielo que las pequeñas
Forma del ala	Las alas con raíces gruesas y punteras delgadas acumulan más hielo en las puntas; afectan los alerones y la sustentación
Tipo de propulsión	Las aeronaves propulsadas por hélice (pistón o turbo) encuentran condiciones de formación de hielo más frecuentemente que los jets debido a velocidades de vuelo, ascenso más lento y altitudes a las que operan
Superficies hipersustentadoras	La extensión de las superficies que aumentan la sustentación (slats/flaps) pueden provocar su acumulación al atravesar o volar en una zona de formación de hielo

ASPECTO DEL DISEÑO	EFFECTOS EN LA FORMACIÓN DE HIELO Y AERODINÁMICA
Sistemas anti-hielo (<i>anti-icing</i>)	Calientan los bordes propicios a la formación de hielo de las aeronaves, como por ejemplo los bordes de ataque de las alas, empenaje vertical u horizontal, las tomas de aire de motores, etc. Estos sistemas pueden llegar a ser insuficientes, causando "hielo en retroceso" (runback ice) que se acumula detrás de la superficie protegida
Sistemas de Deshielo (<i>deicing</i>)	Remueven el hielo acumulado usando sistemas como la "bota neumática" en el borde de ataque, que quiebra la capa de hielo para desprenderla

9. PLANIFICACIÓN DE LA RUTA DE VUELO

Al planificar un vuelo, se debe verificar cuáles son las zonas donde se pueden encontrar condiciones de formación de hielo moderadas a severas. Además, se debe determinar dónde los rangos de temperatura y humedad pueden conducir a la formación de hielo. Si las condiciones meteorológicas son inestables, hay formación de frentes o existen zonas geográficas con elevaciones que puedan hacer ascender masas de aire, hay una alta probabilidad de encontrar formación de hielo en esa ruta.

Es fundamental conocer la base y el tope de la formación nubosa, el nivel de la isoterma de 0°C y la altitud mínima de separación del terreno en esa ruta. Esto permitirá planificar una mínima exposición a la formación de hielo o, en caso de encontrar esta condición en forma inesperada, salir de esa zona en forma segura.

Siempre se debe considerar rutas o altitudes que eviten o disminuyan la posibilidad de encontrar formación de hielo. En muchos casos, una pequeña alteración en la ruta de vuelo puede reducir sustancialmente el riesgo.

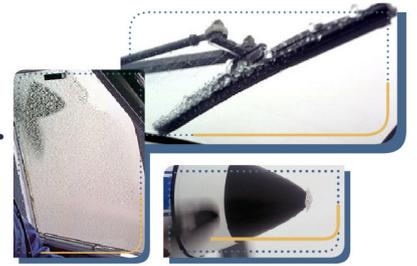
Preste especial atención a la información meteorológica de la ruta (FORECAST /TAF /METAR³) y, sobre todo, a los reportes de pilotos (PIREP). Estos últimos pueden proveer información importante tal como:

- Ubicación y altitud a la que se encuentra formación de hielo
- Severidad y tipo de hielo
- Base y tope de nubes
- Temperaturas en los diferentes niveles

10. RECOMENDACIONES Y BUENAS PRÁCTICAS

Alertas tempranas

Componentes pequeños como limpiaparabrisas, tubos pitot, antenas, conos de hélices y entradas de aire al motor acumulan hielo antes que las superficies críticas, sirviendo como primeras alertas.



Tubo pitot

Un tubo pitot bloqueado por hielo proporciona datos erróneos de velocidad: *al ascender, la velocidad indicada aumenta y al descender, disminuye.*



Llovizna engelante

No asuma que encontrará aire más cálido por encima de la llovizna engelante, ya que se forma por colisión y fusión.



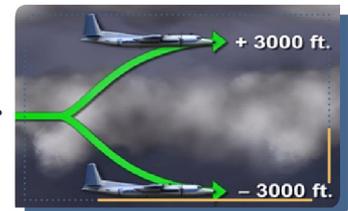
Nubosidad estratiforme

Active inmediatamente los sistemas de protección contra hielo al ingresar en nubosidad estratiforme.



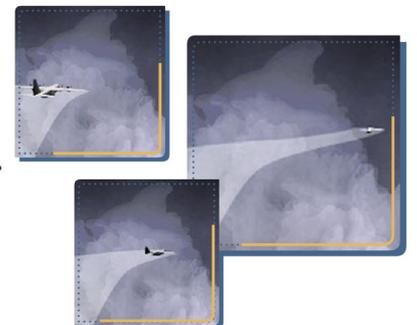
Hielo inusual

Si observa hielo en lugares inusuales (ventanillas laterales, detrás de superficies protegidas o conos de hélices), salga de estas condiciones rápidamente. Un cambio de altitud de 3.000 pies suele ser suficiente.



Nubosidad cumuliforme

Si encuentra formaciones de nubosidad cumuliforme y la temperatura está entre +2°C y -20°C, mantenga separación visual y navegue lateralmente alrededor de esta. Mantenga más de 5 millas náuticas de separación lateral para células aisladas y al menos 50 millas náuticas para frentes de cúmulos.



Vuelos en zonas montañosas

Planifique rutas que eviten la formación de hielo, volando por el lado protegido del viento y manteniendo suficiente separación para evitar turbulencias de onda de montaña.



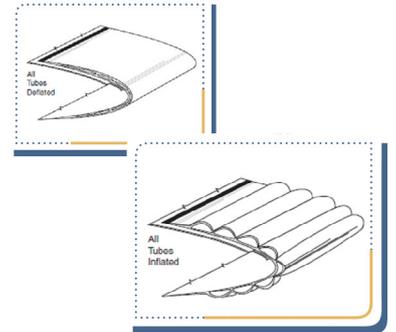
Indicadores de gotas sobreenfriadas

Si tiene la posibilidad de volar sobre la capa nubosa, está soleado y puede ver la sombra de la aeronave en las nubes y alrededor se observan anillos de colores, significa que esa nubosidad contiene agua en estado líquido, probablemente gotas sobreenfriadas.



Sistemas anti-hielo y deshielo

Active los sistemas anti-hielo antes de entrar en áreas de formación de hielo. Las aeronaves con sistemas anti-hielo no están exentas de acumulación rápida de hielo en condiciones de gotas sobreenfriadas. Las botas neumáticas deben activarse al primer indicio de formación de hielo, sin esperar acumulación significativa.



Indicios de formación de hielo

Algunos cambios en la performance de la aeronave pueden indicar que se está formando hielo:

- ✓ Pérdida gradual de la velocidad
- ✓ Disminución de la relación de ascenso para una velocidad dada
- ✓ Mayor potencia para mantener una velocidad
- ✓ Cambios en el control de la aeronave



Si utiliza el piloto automático y tiene dudas, desconéctelo y observe cómo responde la aeronave.



Reportes de piloto (PIREP)

Emita PIREP para informar a otros pilotos sobre las condiciones de formación de hielo encontradas.



Planificación y monitoreo

Planifique el descenso y la aproximación considerando las condiciones de hielo. Esté atento a los cambios meteorológicos y los primeros síntomas de formación de hielo, especialmente en fases de vuelo bajo y lento (despegue, ascenso, aproximación, aterrizaje).



Acciones recomendadas ante condiciones severas

Si llegase a encontrar condiciones de hielo severas:

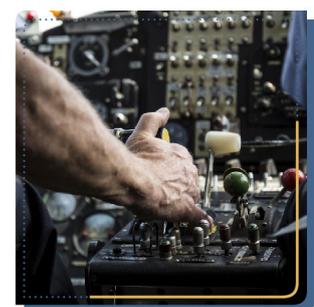
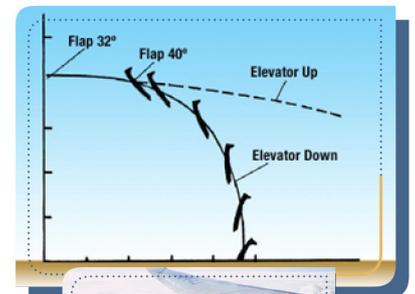
- ✓ *Aumente la potencia y velocidad para asegurar un mayor margen de velocidad de pérdida*
- ✓ *Evite las maniobras abruptas y los descensos rápidos*
- ✓ *Desconecte el piloto automático y vuele manualmente para sentir cómo reaccionan los controles*
- ✓ *No extienda los flaps mientras esté en circuitos de esperas con formación de hielo*
- ✓ *Si ya extendió los flaps, no los retraiga hasta que el ala esté libre de hielo*
- ✓ *Cambie su altitud en nubosidad estratiforme*
- ✓ *Mantenga separación de la nubosidad cumuliforme*
- ✓ *No dude en solicitar cambios de altitud o de ruta*
- ✓ *Avise al control de tráfico aéreo cuáles son las condiciones y haga los reportes que crea convenientes (informes meteorológicos, PIREP, etc.)*



Pérdida de sustentación del estabilizador de cola

Si experimenta demora en los controles, dificultad en el *trim* del elevador o vibración en los controles, es posible que este experimentando una pérdida de sustentación en la cola. Ante esta situación:

- ✓ *Tire de los controles hacia atrás: esta acción es opuesta a lo que siempre se hace cuando hay una pérdida de sustentación del ala. Esto reduce el ángulo de ataque del estabilizador de cola.*
- ✓ *Retraiga inmediatamente los flaps: esto ayuda a reducir el ángulo de ataque del estabilizador. Ante esto habría que ir reduciendo la presión en los controles hacia atrás para evitar que el ala no entre en pérdida.*
- ✓ *Mantenga o reduzca la potencia del motor: aumentar la potencia hace que aumente la velocidad y hace que el estabilizador se acerque a la pérdida.*



11. CONCLUSIONES

Es fundamental recordar la importancia de consultar la información meteorológica disponible antes de realizar un vuelo. Esto incluye tanto las observaciones meteorológicas METAR/SPECI, los pronósticos meteorológicos aeronáuticos y los TAF⁴ (pronósticos de aeródromos). También deben consultarse los informes meteorológicos PRONAREA⁵ correspondientes a las regiones de vuelo (FIR) que resulten necesarios, donde se encuentra información de la Isoterma de 0°C, engelamiento, turbulencia, entre otros.

Por otra parte, la sección FCST del PRONAREA contiene pronósticos realizados para aeródromos correspondientes a la FIR del PRONAREA consultado, para los cuales no tienen TAF. Además, en caso de condiciones meteorológicas severas, como el caso de engelamiento severo, se emiten mensajes SIGMET⁶ que incluyen la intensidad, área horizontal y niveles de vuelo afectados, entre otros aspectos.

Es muy importante comunicarse siempre con las oficinas de pronóstico del Servicio Meteorológico Nacional⁷ ubicadas en los aeródromos para solicitar asesoramiento (briefing) para gestionar de manera eficiente posibles riesgos de seguridad en las operaciones aéreas y evitar incidentes o accidentes.

Tenga presente que su mejor protección es planificar su vuelo, mantener atención para detectar los primeros indicios de la formación de hielo y tratar de evitar las áreas donde se puedan encontrar esas condiciones.



4- <https://www.smn.gov.ar/taf>

5- <https://www.smn.gov.ar/pronarea>

6- <https://www.smn.gov.ar/meteorologia-aeronautica>

7- SMN: Servicio Meteorológico Nacional

12. DOCUMENTOS ÚTILES

» Englamamiento y bajas temperaturas. SMN. Revista FADA Express (N°8).
Recuperado de <https://fada.org.ar/web/3d-flip-book/fada-express-no8/>

» Aircraft Icing Training - A Pilot's Guide to In-Flight Icing. Icing Branch at Nasa Glenn Research Center.

https://aircrafticing.grc.nasa.gov/1_1_0_0.html

» Formación de hielo en vuelo. EGAST.

https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/GA10-Formaci%C3%B3n%20de%20hielo%20en%20vuelo-Final_AESA.pdf

» Englamamiento o formación de hielo en aviones: uno de los principales 'enemigos' en vuelo. One Air Flight Training Spain – EASA.

<https://www.oneair.es/englamamiento-hielo-aviones/>

» AC 91-74B - Pilot Guide: Flight In Icing Conditions. FAA.

https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_91-74B.pdf

» El Englamamiento - Meteorología Aplicada. José Miguel Viñas.

<https://www.divulgameteo.es/uploads/Englamamiento.pdf>

» Formación de hielo en los aviones (Fabrizio Spicuglia - Panamedia International Flight School). <https://panamedia.org/formacion-de-hielo-en-los-aviones/>

» Englamamiento y su impacto a la aviación civil. Mike Davison - Nws International Desks..

https://ftp.wpc.ncep.noaa.gov/mike/Peru_ICAO/Presentaciones/3_Englamamiento%20y%20su%20Impacto%20a%20la%20Aviacion%20Civil.pdf



JST | SEGURIDAD EN
EL TRANSPORTE