

ARTICULO DE DIVULGACIÓN

# La formación de hielo en aeronaves en tierra

*Aircraft ground icing*

**Lic. Ernesto Agustín García**  
Ingeniero Industrial (UTN)

egarcia50@hotmail.com

**Lic. Nicolás Rivaben**  
Lic. en Ciencias de la Atmósfera  
(UBA)

nickmeteo@hotmail.com

**Lic. Leonardo Fabián Gigante**  
Especialista en Higiene y  
Seguridad en el Trabajo (UTN)

lgigante@yahoo.com

**Ing. Carlos Mario Carbonel**  
Ingeniero Aeroespacial,  
Aeronáutica y Astronáutica  
(UTN)

ccx\_carlos97@hotmail.com

**Palabras clave:** Engelmiento -  
Seguridad Operacional -  
Transporte Aeronáutico -  
Gestión de Riesgo -  
Recomendaciones de Seguridad.

**Keywords:** Ground  
Icing - Operational Safety -  
Aeronautical Transportation -  
Risk Management - Safety  
Recommendations.

**Recibido:** 25/06/24  
**Aceptado:** 27/06/24

## Resumen

El artículo aborda el fenómeno del ground icing, la acumulación de hielo en aeronaves en tierra, que afecta la seguridad operacional. El ground icing se produce por bajas temperaturas y alta humedad, formando escarcha (hielo en cristales) y hielo claro (transparente y denso). Estos tipos de hielo alteran el perfil aerodinámico, incrementan el peso y la resistencia, y reducen la sustentación y el empuje. Factores como la temperatura ambiente, la cantidad y tipo de combustible, el tiempo de vuelo a altas altitudes, y la humedad relativa contribuyen a su formación. Es esencial implementar prácticas preventivas y comprender los riesgos para asegurar operaciones aéreas seguras.

## Abstract

The article addresses the phenomenon of ground icing, the accumulation of ice on aircraft on the ground, which affects operational safety. Ground icing is caused by low temperatures and high humidity, forming frost (ice in crystals) and clear ice (transparent and dense). These types of icing alter the airfoil, increase weight and drag, and reduce lift and thrust. Factors such as ambient temperature, amount and type of fuel, flight time at high altitudes, and relative humidity contribute to their formation. It is essential to implement preventive practices and understand the risks to ensure safe air operations.

## Introducción

En este artículo, exploraremos las implicancias del concepto de *ground icing* para el transporte aeronáutico, que remite a un fenómeno que puede afectar la seguridad operacional de las aeronaves en tierra. Ahondaremos en sus características, clasificaciones y efectos.

### ¿Qué es el *ground icing*?

El *ground icing* es la contaminación de hielo sobre cualquier superficie de la aeronave que se encuentra en tierra. Se produce por una combinación de baja temperatura ambiente y de los planos, y una humedad relativa elevada.

Dentro de los diferentes tipos de formación de *ground icing* se encuentran la escarcha o helada (*active frost*) y el hielo claro (*clear ice*) en cualquiera de sus tipos.

Figura 1. Tipos de *ground icing*



#### Escarcha o helada

active frost

Congelación del vapor de agua en pequeños cristales de hielo sobre la superficie de la aeronave con temperaturas inferiores a 0°C y elevada humedad relativa. Ocurre en ausencia de luz solar y tiene su máxima incidencia al amanecer.



#### Hielo claro

clear ice

Formación de hielo transparente de alta densidad que afecta principalmente a las superficies críticas de la aeronave. Es difícil de detectar y puede afectar gravemente la seguridad operacional, ya que muchos mecanismos *anti-icing* y *de-icing* son ineficientes para prevenirlo o removerlo.

Fuente: elaboración propia

#### Escarcha o helada (*active frost*)

La formación de escarcha consiste en la congelación del vapor de agua en pequeños cristales de hielo sobre la superficie de los planos de la aeronave con temperaturas inferiores a 0°C y elevada humedad relativa (por encima del 90 %). Por lo general, ocurre en ausencia de luz solar, ya sea a la sombra o bien en horas de la noche, y tiene su máxima incidencia al amanecer.

#### Hielo claro (*clear ice*)

El hielo claro consiste en la formación de hielo transparente de alta densidad que afecta principalmente a las superficies críticas de la aeronave.

Este tipo de hielo es el más difícil de detectar y puede afectar gravemente la seguridad operacional, dado que muchos mecanismos *anti-icing* y *de-icing* en ciertos tipos de aeronaves son ineficientes para prevenirlo o removerlo.

Este tipo de hielo puede presentarse en tres formas:

1. Lluvia o llovizna engelante: las gotitas de lluvia o llovizna caen en estado líquido con temperatura por debajo de 0°C —superenfriada— y cambian abruptamente al estado sólido (hielo) al colisionar con los planos o superficies críticas de la aeronave.
2. Niebla engelante: se produce cuando la aeronave está expuesta a condiciones de niebla, con alta humedad relativa y temperatura de 0°C. Análogamente al caso de la lluvia o llovizna engelante, las gotitas de nube —niebla— en estado líquido se transforman en hielo cuando interceptan los planos de la aeronave con temperaturas por debajo de 0°C.
3. Efecto humedad por enfriamiento (*cold soak effect*): puede existir en el caso de que una aeronave realice un turn-around, llegando a superficie con una temperatura alar inferior a 0°C; si hay precipitación líquida con temperaturas cercanas a 0°C, puede generarse englamamiento de manera análoga al caso de lluvia o llovizna engelante. Este efecto se produce cuando las alas de la aeronave contienen combustible con temperaturas por debajo de 0°C, debido al vuelo efectuado en niveles altos, o bien en casos en los que, al repostar, el combustible está a muy baja temperatura y la temperatura ambiente varía entre -2°C y +15°C, con elevada humedad relativa, es decir, diferencias pequeñas entre temperatura y temperatura del punto de rocío cercana.

**“El *ground icing* es la contaminación de hielo sobre cualquier superficie de la aeronave que se encuentra en tierra.**



### ¿Cuáles son los efectos de la formación de hielo en las superficies críticas?

La contaminación de los planos produce una pérdida de la performance de la aeronave debido a:

- La pérdida de sustentación.
- El incremento del peso.
- El incremento de la resistencia aerodinámica.
- La reducción del empuje disponible (caso engelamiento tipo *ice-crystal icing*).
- La reducción del ángulo de ataque para la entrada en pérdida.

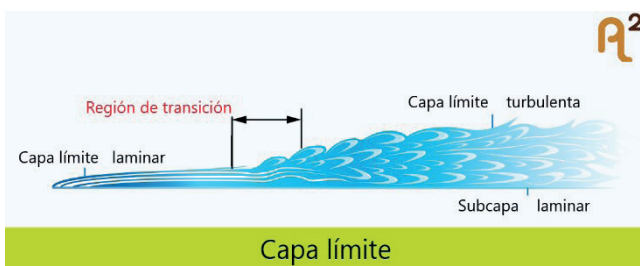
### Factores contribuyentes para que se produzca el *ground icing*

- La temperatura.
- La cantidad y el tipo de combustible en los tanques.
- Tipo y ubicación de los tanques.
- El tiempo de vuelo a altos niveles.
- La temperatura del combustible al repostar y el tiempo transcurrido desde la recarga.

Las áreas críticas más afectadas son los bordes de ataque de las alas, los estabilizadores vertical y horizontal, junto a los timones de dirección (rudder) y de profundidad (elevador). La contaminación en estos planos cambia el flujo de aire desprendiendo de la capa límite alar, creando un flujo turbulento y la restricción del movimiento de las superficies móviles (slats, flaps, alerones, rudder, elevador y tabs).

En los helicópteros, la acumulación de hielo puede afectar el rendimiento de las palas del rotor principal, como así también su estructura. Un rotor contaminado puede perder hasta un 50 % de su capacidad de sustentación comparado con un rotor limpio. Además, el hielo acumulado en las palas, al girar, puede desprenderse y producir daños al personal o material.

Figura 2. Capa límite



Fuente: <https://www.aprendamos-aviacion.com/2021/08/vuelo-alta-velocidad.html>

### ¿Cómo se identifican las señales de contaminación?

Los informes meteorológicos se utilizan para ayudar a anticipar la contaminación por congelamiento en el suelo y en el aire. Temperaturas debajo de los 15°C y temperatura del punto de rocío cercana pueden dar indicios de formación de hielo, aunque no haya precipitación.

**“Las áreas críticas más afectadas son los bordes de ataque de las alas, los estabilizadores vertical y horizontal.”**



### Conclusiones

En resumen, la formación de hielo en aeronaves en tierra es un desafío importante que requiere atención y cuidado. Con prácticas preventivas adecuadas y una comprensión clara de los riesgos involucrados, podemos garantizar la seguridad y eficiencia de nuestras operaciones aéreas.

#### Buenas prácticas para prevenir y mitigar sus efectos

- Pasar la mano por la superficie para ayudar a identificar si hay formación de hielo o no. El tacto también ayudará a determinar si una capa de agua se ha congelado, formando una ligera capa de hielo en alguna superficie de la aeronave. El contacto con las manos es la mejor manera de detectar el hielo claro (clear ice, cold soak).
- Observar en el interior de las tomas de aire de motor y del sistema pitot, donde la deposición de hielo puede ocultarse de la vista. En caso de ala alta o admisión de motor alta, usar escalones u otro equipo de acceso para realizar una inspección visual adecuada.
- Ante condiciones de formación de hielo durante el vuelo, posponer la salida de aquellas naves que no estén certificadas adecuadamente.
- Si se cuenta con líquidos para deshielo o anti-congelantes, verificar las tablas de tiempo para el despegue.
- Para helicópteros, es recomendable mantenerlos bajo un área cubierta o en un hangar cuando sea posible. Si se encuentra al aire libre, utilizar fundas o cobertores que suministrarán

una adecuada protección siempre que se instalen sobre un helicóptero seco. Debido a que no es práctico cubrirlo íntegramente, aquellas partes que queden descubiertas o cerca de los bordes del cobertor requerirán una inspección más detallada.

- En helicópteros equipados con esquíes, verificar que no se haya formado hielo entre la superficie de apoyo de los esquíes y los tubos, ya que podría ser necesaria una mayor potencia para despegar, lo que podría provocar una maniobra brusca. En caso de que no se pueda eliminar el hielo, es recomendable iniciar un ascenso estacionario y, cuando se encuentre "liviano sobre los esquíes"<sup>1</sup>, mover suavemente el helicóptero sobre su eje vertical con una pequeña aplicación en ambos pedales (guiñada), para intentar quebrar el hielo que se encuentre entre el suelo y los tubos de los esquíes.

Para más información, consultar la Alerta de Seguridad Operacional sobre formación de hielo en tierra a través del siguiente QR:

<https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2018/09/ground-icing11.pdf>



## Bibliografía

Junta de Seguridad en el Transporte; Servicio Meteorológico Nacional (2023). Alerta de Seguridad Operacional: Formación de hielo en tierra. Dirección Nacional de Investigación de Sucesos Aeronáuticos.

Transportation Safety Board [TSB] (2023). Guidelines for Aircraft Ground Icing Operations. Issue 8. Transport Canada



<sup>1</sup> Es un término que se refiere a cuando el helicóptero empieza a poner potencia y comienza a elevarse, pero todavía no despegaron totalmente los esquíes del piso.