**Engelamiento**

Se llama engelamiento a la formación de un deposito de hielo sobre un avión o sobre ciertas partes de el. El engelamiento puede producirse sobre un avión en vuelo y también sobre un avión en tierra.  
  
Este fenómeno puede ser muy peligroso si no se conoce, de manera precisa, en que condiciones se puede producir y los medios de evitarlo o de combatir sus efectos.  
  
Las corrientes ascendentes mantienen abundante agua líquida con tamaños de gotas relativamente grandes. Cuando se llevan por encima del nivel de congelación, el agua se convierte en super enfriada. Cuando la temperatura en la corriente ascendente se enfría a aproximadamente -15 °C, la mayor parte del vapor de agua restante se sublima como cristales de hielo. Por encima de este nivel, a  temperaturas más bajas, la cantidad de agua super enfriada disminuye.

El agua superenfriada se congela al impactar con un avión. Puede ocurrir a cualquier altitud por encima del nivel de congelación. A niveles altos, el engelamiento por gotitas más pequeñas puede aparecer como escarcha o mixto (escarcha y hielo claro).

La abundancia de grandes gotas de agua super enfriadas, forma hielo claro muy rápido entre 0 °C y -15 °C y se puede encontrar frecuentemente en un grupo de células. El engelamiento puede ser extremadamente peligroso.

Por debajo de -15 ºC la nube tiende a transformarse en nube de hielo.

Por debajo de -20 ºC casi todas las nubes están formadas de agujas de hielo.

Sin embargo se han observado nubes formadas por agua sobrefundida hasta -40ºC y como es el caso de observaciónes realizadas en los trópicos a 14700 m de altitud y -67ºC.

**Formación de hielo en la nube y la precipitación**

El proceso de cristalización libera calor: 80 calorías por gramo de agua. En consecuencia la cristalización de una gota de agua no puede ocurrir instantáneamente. La solidificación deja de progresar en el momento en que el calor de cristalización, liberado, hace subir a cero grado la temperatura de la gota. Prosigue, sin embargo, si la gota de agua tiende nuevamente a enfriarse por el medio que la rodea. El resultado es que la solidificación es lenta cuando la temperatura del aire es poco inferior a 0ºC, siendo más rápida si la temperatura ambiente es más baja.  
Por esta razón, a temperaturas poco inferiores a cero grado, cada cristal de hielo que surge por el impacto de una gota de agua puede soldarse a los cristales de los alrededores, mediante el agua que se congela relativamente despacio.  
Cuanto más grandes sean las gotas de agua y más próximas estén más fácil será que se suelden al congelarse. El hielo se forma, de esta manera, compacto y duro. Cuanto más baja es la temperatura, menor posibilidad hay de que las gotas congeladas se suelden entre sí.

La consecuencia es que los engelamientos compactos se producen, por lo general, a temperaturas de pocos grados por debajo de cero y cuando las dimensiones y el número de las gotas de agua son bastantes grandes.

-El engelamiento es especialmente peligroso entre 0ºC y -8ºC

-Es más frecuente hacia los -5ºC

-A temperaturas más bajas se hace menos peligroso: a -12ºC el hielo resulta muy quebradizo y tiene la consistencia de la nieve. Hay excepciones en los cúmulos y cumulonimbus en los que se han dado casos de engelamiento fuerte hacia los -20ºC y moderado hacia los -30ºC. Lo mismo sucede en las acumulaciones nubosas originadas por efecto orográfico, al remontar el aire de la cordillera.

En general, las estructuras de nubes cumuliformes contendrán gotas relativamente grandes que pueden conducir a una acumulación de hielo muy rápida. Las estructuras de nubes estratiformes, generalmente, contienen gotas mucho más pequeñas, aunque la extensión horizontal de las condiciones de formación de hielo dentro de una nube estratiforme puede ser tal que la acumulación, incluso en un período relativamente corto de vuelo nivelado, a veces puede ser considerable.

Se puede esperar que la acumulación de hielo más significativa en cualquier nube ocurra a temperaturas inferiores, pero cercanas, a 0˚C. En una nube estratiforme en latitudes templadas, la acumulación máxima de hielo a menudo se encuentra cerca de la parte superior de la nube y puede no ser prudente que un avión de turbohélice permanezca a esa altitud durante períodos prolongados.

Cualquier llovizna que se encuentre a temperaturas de congelación o inferiores es probable que genere una acumulación significativa de hielo en un período de tiempo muy corto, incluso si prevalece una visibilidad hacia adelante razonable, y tales condiciones deben ser abandonadas por cualquier cambiando la trayectoria de vuelo apropiadamente.

La nieve en sí misma no presenta una amenaza de formación de hielo, ya que el agua ya está congelada. Sin embargo, la nieve se puede mezclar con agua líquida, particularmente gotas de nubes, y, en algunas circunstancias, puede contribuir a la acumulación de depósitos congelados peligrosos. Este fenómeno también puede ocurrir en Cumulonimbus nubes de yunque, donde los cristales de hielo se pueden mezclar con SLD para incurrir en una formación de hielo significativa.

Las variedades de engelamiento más peligrosas son las descritas anteriormente, puede haber otras formas. La adherencia del hielo formado depende mucho de las propiedades de la superficie sobre la que se deposite. Se adhiere mal a superficies muy pulidas y muy bien a superficies rugosas.

La velocidad de la formación del engelamiento depende:

* de la densidad de gotas en la nube
* del tamaño de las gotas
* de la velocidad propia del avión
* de la temperatura del avión

**Tipos de engelamiento**

Engelamiento de la célula del avión:

**Hielo transparente**: Capa muy adherente que se forma a temperaturas entre 0ºC y -4ºC. Este tipo de engelamiento presenta una superficie lisa o ligeramente rizada. Se deposita sobre los contornos del borde de ataque de las alas, etc. es muy dificultoso lograr que se desprenda. Desde el borde de ataque se extiende hacia atrás formando una capa cuyo espesor disminuye progresivamente.  
  
**Hielo opaco**: Cuando la nube o lluvia contiene cristales de hielo, de nieve o granizo, el depósito de hielo pierde su aspecto liso y transparente, haciéndose granuloso y blanquecino. Pueden formarse protuberancias imprevistas, de grandes dimensiones, capaces de originar perturbaciones importantes en el flujo de aire. Esta variedad se produce entre -4°C y -9°C  
  
**Hielo blanco**: Se produce a temperaturas inferiores a 0°C en las nubes formadas por finas gotitas. Color blanco lechoso, opaco y se deposita especialmente en los bordes de ataque. Está compuesto por gránulos de hielo quebradizo, mezclados con finos cristales de hielo y contiene burbujas de aire. Este tipo de hielo no es tan compacto como el transparente y puede romperse con facilidad. No tiene tendencia a propagarse hacia atrás. Se forma a -10°C  
  
**Escarcha:** Es un depósito de pequeños cristales blancos con aspecto de plumas o de nieve, tales como las que se forman sobre objetos situados en las cercanías del suelo durante las noches frías. Al tener la superficie del avión una temperatura inferior a cero grados, enfría el aire con el que entra en contacto y puede hacer que su temperatura descienda por debajo del punto de rocío (por debajo del del punto o temperatura de sublimación), entonces el vapor de agua pasa directamente a estado sólido. Los depósitos formados de esta forma, son en las aeronaves poco duraderos, poco espesos ni muy adherentes. Generalmente se forma en aviones estacionados a la intemperie durante la noche y es conveniente y necesario hacerla desaparecer antes de utilizar la aeronave para realizar un vuelo.

**Efectos del engelamiento**

La formación de hielo en el fuselaje puede reducir el rendimiento, la pérdida de sustentación, la capacidad de control alterada y, en última instancia, el bloqueo y la consiguiente pérdida de control del avión. Los peligros que surgen de la presencia de hielo en un fuselaje incluyen:

Pérdida de sustentación: El hielo que se forma sobre las alas deforma el perfil y añade peso suplementario al avión. La disminución del coeficiente de sustentación máximo hace al avión muy sensible al peligro de pérdida de sustentación.

Si las alas están engeladas y no puede ser eliminado el hielo será necesario efectuar la aproximación a una velocidad mayor, apoyado con potencia del motor hasta el último momento.

La formación de hielo sobre las alas, timones, alerones y fuselaje produce un aumento de arrastre que obliga a utilizar mayor potencia para mantener una velocidad suficiente para generar sustentación.

La formación de una capa de hielo, incluso cuando pensemos que es poco importante, puede ser la causa de una disminución de la velocidad; lo cual hace disminuir la autonomía.

**Efectos aerodinámicos adversos**

La acumulación de hielo en partes críticas del fuselaje que esté desprotegido por un sistema anti-icing o de-icing system puede modificar el patrón de flujo de aire alrededor de superficies aerodinámicas como alas y palas de hélice, lo que ocasionará la pérdida de sustentación, mayor arrastre y un cambio en el centro aerodinámico.

También puede alterar la estabilidad de la aeronave. La estabilidad longitudinal también puede verse afectada por una degradación de la sustentación generada por el estabilizador horizontal. El patrón de flujo de aire modificado puede alterar significativamente la distribución de presión alrededor de las superficies de control de vuelo tales como alerones y elevadores.

**Bloqueo de tubos Pitot y ventilaciones estáticas.**

Cuando se forma hielo en un tubo pitot, la indicación de la velocidad será incorrecta. Si el hielo obstruye el tubo de Venturi, queda afectado el buen funcionamiento del horizonte artificial y el compás giroscópico, entre otros.  
  
**Hélices**

* Pérdida de rendimiento
* Vibraciones

Hay dos orígenes principales de accidentes e incidentes graves que involucran formación de hielo en el fuselaje:

Las aeronaves de aviación general que no están equipadas con sistemas de protección contra la formación de hielo que vuelan en condiciones de formación de hielo pueden encontrar suficiente hielo a altitudes de crucero, lo que genera la incapacidad de mantener la altitud y / o velocidad.

En terreno montañoso, esto a menudo conduce a un bloqueo seguido de una pérdida de control cuando el piloto intenta mantener la altitud sobre el terreno elevado. Alternativamente, una colisión con el terreno cuando no se puede mantener la altitud.

Independientemente de la orografía, cualquier aeronave sin sistemas de protección de hielo que vuela en condiciones de formación de hielo puede encontrar rápidamente un bloqueo y pérdida de control debido a la resistencia excesiva y la pérdida de sustentación.

Aeronaves, predominantemente impulsadas por hélices, que dependen de la protección principalmente con botas neumáticas de deshielo, y funcionan en condiciones de formación de hielo que exceden la capacidad de la protección. En estos casos, si el ángulo de ataque aumenta en presencia de una carga anormal de hielo, ya sea como resultado de intentar mantener una escalada con una potencia limitada y una carga relativamente alta o, más repentinamente, cuando se cambia la configuración durante la aproximación, puede producirse un bloqueo y pérdida de control, y la recuperación puede no ser posible en un nivel bajo de vuelo.

**Mitigaciones**

**Meterología:**

* Localización de las zonas de engelamiento
* Utilización de una táctica de vuelo conveniente en relación con la situación de las zonas de engelamiento.

La localización de las zonas de engelamiento está basada, ante todo, en:

* Los sondeos de la atmósfera para determinar la altitud de la superficie isoterma de cero grado. Se sabe que por encima de esta, si se vuela en nubes o dentro dela lluvia puede producirse engelamiento el cual resulta:
* Peligroso hasta -8°C
* Cada vez menos peligroso desde -8|C a -14°C
* Poco peligroso por debajo de los -14°C, salvo en los cúmulos, cumulonimbos o las nubes que se forman por ascenso orográfico.
* El estudio del mapa del tiempo, especialmente de los frentes y de las nubes.

Si se advierte formación de hielo: Conviene variar de altitud o interrumpir el vuelo lo más pronto posible a partir del momento en que se advierte la formación de hielo.