

ENGELAMIENTO (FORMACION DE HIELO)



ENGELAMIENTO (FORMACION DE HIELO)

INTRODUCCION

La formación de hielo en una aeronave constituye uno de los mayores riesgos para las operaciones aéreas. La acumulación de hielo en las distintas partes de una aeronave reduce su eficiencia y capacidad de vuelo, provoca vibraciones en sus componentes estructurales, dificultades en los mecanismos de la superficies de control, de los frenos aerodinámicos y el tren de aterrizaje, disminución de la visibilidad en la cabina, indicaciones erróneas del instrumental de a bordo, limitaciones en la comunicaciones debidas a la utilización de la antena, aumento del consumo de combustible y pérdida de sustentación.

Además de los riesgos potenciales que crea la formación de hielo en las superficies expuestas de una aeronave, con frecuencia en la misma se produce hielo en algunas partes de su planta propulsora, en especial

en el sistema de carburación, en el caso de aviones a pistón, o en el compresor de las turbinas. También se puede producir hielo en el tubo Pitot.

Existen dos factores primordiales que rigen la formación de hielo a saber:

- Meteorológicos: Temperatura del aire menor de 0°C , gotas de agua subenfriadas a valores menores del punto de congelación y/ o un elevado contenido de humedad en el aire.
- No Meteorológicos: La temperatura externa de la aeronave, pues con valores superiores al 0°C , no se forma hielo.

La formación de hielo también se puede producir estando el avión estacionado, debido a nevadas o formación de escarcha. Por tal motivo se deben extremar las medidas de seguridad antes del despegue, realizando una cuidadosa remoción del hielo acumulado. Las **Figuras 1 y 2** ilustran los efectos del hielo en las aeronaves convencionales y a reacción.

FIGURA .1

EFFECTOS DEL HIELO EN AERONAVES CONVECCIONALES

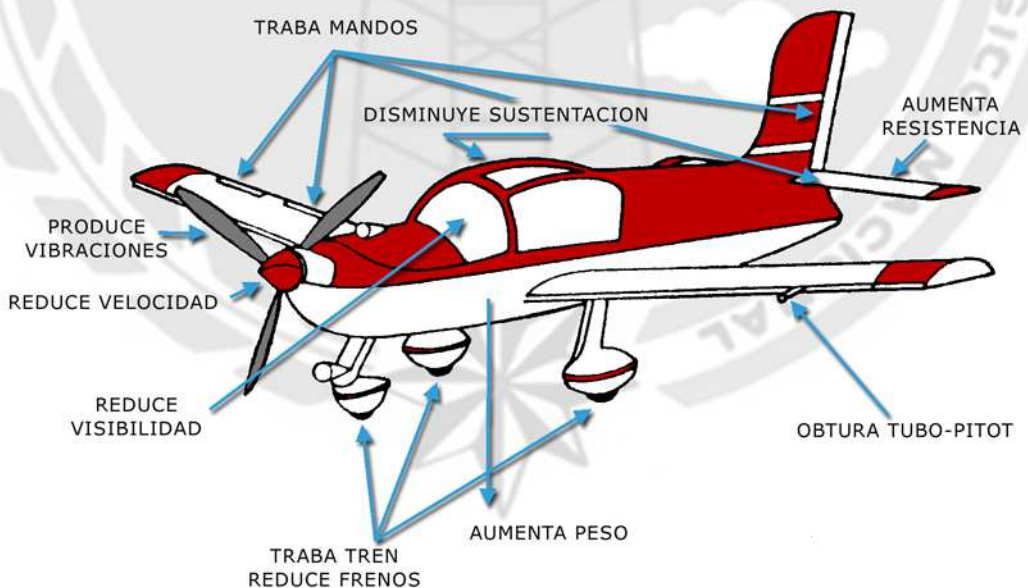
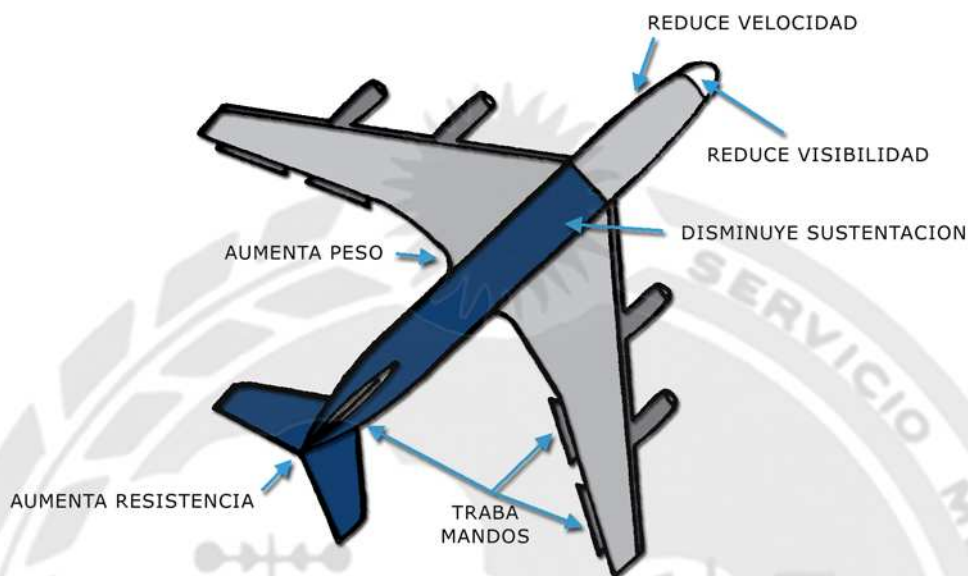


FIGURA .2

EFFECTOS DEL HIELO EN AERONAVES A REACCION



CLASES DE HIELO

• Hielo claro

El hielo claro se forma cuando después de un impacto inicial, la gota de agua se escurre sobre la superficie de la aeronave, congelándose gradualmente y formando una sólida capa de hielo, que se acrecentará con los sucesivos impactos de otras gotas de agua.

Este tipo de hielo se forma cuando, las gotas son grandes como el caso de una lluvia o nubes cumuliformes (**Figura 3**). Esta clase de hielo es el más peligroso, por su rápida e irregular acumulación, su fuerte adherencia y su gran peso por unidad de superficie.

• Hielo opaco

Este hielo se forma cuando las gotas son de pequeño tamaño, como las que se encuentran en las nubes estratiformes ó en la llovizna. Se producen cuando la porción líquida que permanece después del impacto inicial se congela rápidamente antes de que la gota tenga tiempo de desparramarse sobre la superficie.

Las pequeñas gotas al congelarse atrapan aire entre ellas y a ello se debe su color blanco parecido al de la nieve, y su porosidad y su opacidad.

El hielo opaco es mucho más liviano que el cristalino y por eso su peso no tiene demasiada importancia; sin embargo, su forma irregular y la superficie despareja que presenta, afectan el rendimiento aerodinámico de la aeronave mucho más que el hielo claro; en contraposición es mucho más fácil de eliminar.

• Mezcla de hielo opaco y claro

Esta mezcla se forma cuando las gotas varían de tamaño o cuando las gotas líquidas están mezcladas con nieve o partículas de hielo.

Las partículas de hielo se embeben dentro del hielo claro, formándose una despareja acumulación que afecta fundamentalmente las condiciones aerodinámicas de la aeronave y como su peso es casi similar al del hielo claro, esta clase de hielo es también muy peligrosa (**Figura 5**).



FIGURA .3



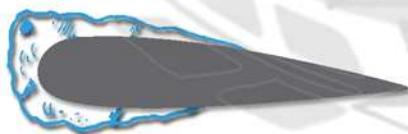
HIELO CLARO
(compacto y brillante)

FIGURA .4



HIELO OPACO
(quebradizo y parecido a la escarcha)

FIGURA .5



HIELO CLARO Y OPACO
(compacto y desparejo)

• Escarcha

Se forma en aire claro, por sublimación del vapor de agua, generalmente al descender bruscamente una aeronave desde un nivel en que la temperatura es inferior a 0° C a otro nivel en el cual la temperatura supera los 0°C y donde existe un alto contenido de humedad. Cuando se deposita en el parabrisas, puede ser peligroso por la anulación de la visibilidad.

La escarcha también se puede acumular sobre las superficies superiores de una aeronave estacionada durante la noche, con una leve brisa que impulsa aire húmedo con temperaturas inferiores a 0°C.

No obstante formar una capa delgada, puede crear una situación riesgosa en el despegue, además se puede formar en las antenas y el tubo de Pitot.

INTENSIDAD DEL HIELO

La intensidad de la formación de hielo está evaluada por el espesor de hielo formado por unidad de tiempo.

Un cálculo aproximado de la intensidad del engelamiento está dado por la fórmula:

$$I = 10^{-2} \cdot u \cdot w \text{ mm/min}$$

donde:

u: velocidad del avión en km/h

w: contenido en la nube en gr/m³

I: expresa en milímetros por minuto

La intensidad se considera:

DEBIL si $I < 0,5 \text{ mm/min}$

MODERADA si $0,51 < I < 1 \text{ mm/min}$

FUERTE si $1,1 < I < 2.0 \text{ mm/min}$

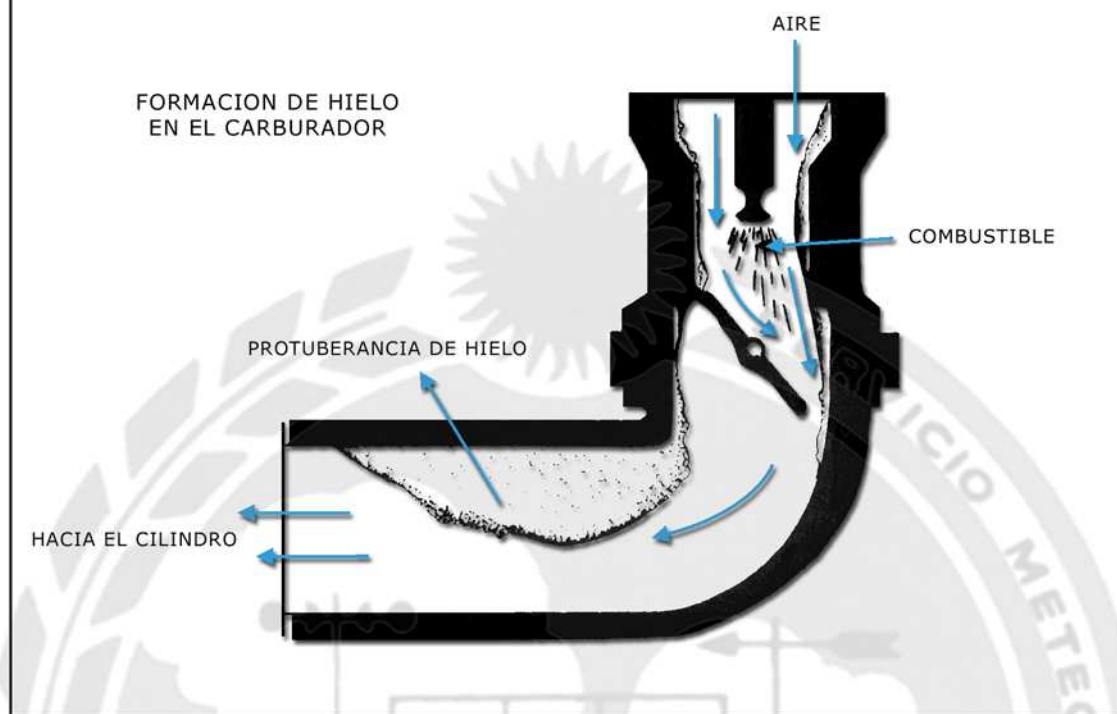
SEVERA si $2.1 < I$

FORMACION DE HIELO EN LA PLANTA PROPULSORA

Tanto en las aeronaves a pistón, como en las de turbinas, se puede formar hielo en la planta propulsora, produciéndose en el primer caso en el carburador, y en el segundo en el compresor, generalmente el primero de ellos, pues una turbina tiene varios compresores.



FIGURA .6



En ambos casos se debe a que la aspiración del aire en un motor a pistón ó en el compresor de la turbina produce un vacío parcial que por expansión adiabática enfría el aire formándose hielo por sublimación cuando la temperatura del aire desciende a menos de 0°C y contiene suficiente humedad.

En las máquinas a pistón la evaporación del combustible produce un enfriamiento adicional. Este enfriamiento puede llegar a ser considerable y en gran medida responsable del engelamiento en los motores a temperaturas muy por encima de los 0°C. Esta formación de hielo siempre reduce el rendimiento del motor y eventualmente puede disminuir la admisión de aire a valores menores de los necesarios para que opere correctamente el motor.

A iguales condiciones ambientales, la intensidad de la formación de hielo dentro del motor varía muchísimo entre las diferentes clases de aeronaves a turbinas. La **Figura 6** ilustra sobre la formación de hielo en el carburador.

FORMACION DE HIELO EN LAS PARTES EXPUESTAS DEL INSTRUMENTAL

La formación de hielo en el tubo Pitot, como se muestra en la **Figura 7**, reduce sustancialmente la circulación de aire dentro del tubo y por lo tanto sus mediciones dejan de ser confiables.

La formación de hielo en la antena de radio distorsiona su forma, aumentando la resistencia al avance e impone vibraciones que afectan al sistema de comunicaciones. La severidad de este hielo depende en gran parte de la forma y orientación de la antena.

FORMACION DE HIELO EN LA HELICE

Generalmente se forma en los extremos de las palas y es del tipo de hielo claro. Provoca grandes vibraciones reduciendo la propulsión de la aeronave, siendo muy difícil de eliminar, por tal motivo se lo considera peligroso.



ENGELAMIENTO SEGÚN LOS DISTINTOS TIPOS DE NUBES

Básicamente toda la nube con temperaturas inferiores a los 0°C puede producir engelamiento, sin embargo, el tamaño de las gotas y su distribución, influyen sobre la formación y características del engelamiento.

La condición más favorable para producir un engelamiento peligroso, está dada por una gran concentración de gotas subenfriadas de tamaño relativamente grande. Estas se encuentran en los cumulonimbus pues debido a los fuertes movimientos ascendentes que caracterizan este tipo de nubes, son arrastradas hasta las capas superiores enormes cantidades de agua líquida que llegan a tener temperaturas muy inferiores a 0°C . Tanto es así, que en algunas ocasiones

se produjo formación de hielo entre los 900 y 1.200 m de altitud con temperaturas inferiores a -40°C .

Las pequeñas gotas de agua se encuentran comúnmente en nubes estratiformes, como ser stratus, stratocúmulus, altostratus y nimbostratus. También la llovizna o lluvia ligera evidencia la presencia de este tipo de gotas y el tipo más común de hielo que se puede producir es el opaco.

Por otra parte se puede presentar un campo de nubes stratiforme de gran espesor y de una extensión horizontal del orden de varios centenares de kilómetros, que producen una continua precipitación, (caso típico de los frentes calientes en invierno). Al atravesar una aeronave esas zonas con temperaturas inferiores a los 0°C normalmente se produce una fuerte y peligrosa formación de hielo claro.

FIGURA .7

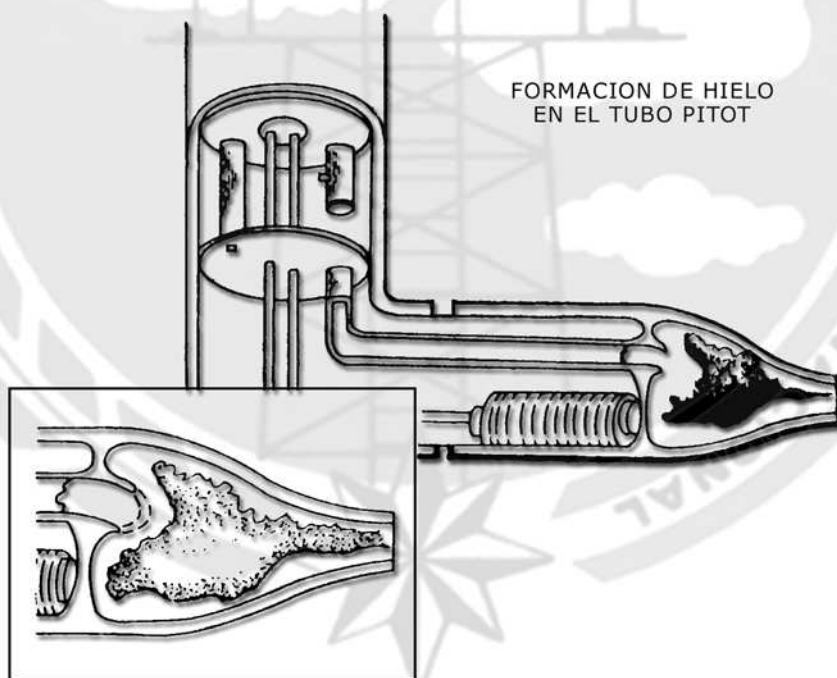
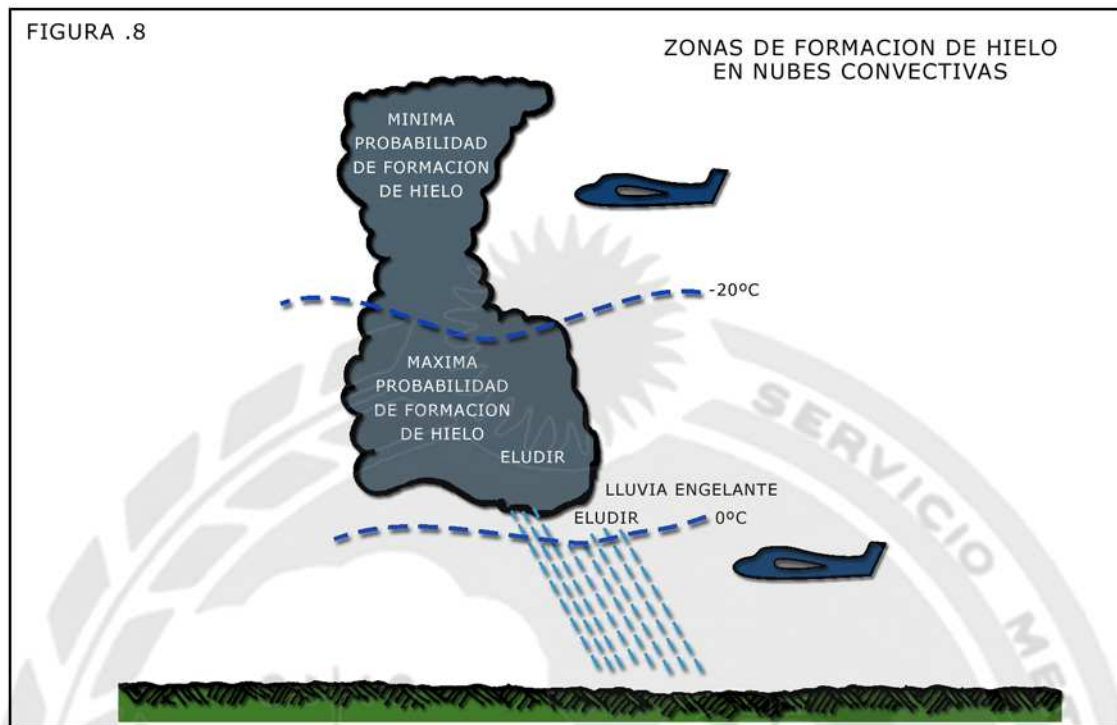


FIGURA .8



NIVELES DONDE SE PRODUCE PREFERENTEMENTE ENGELAMIENTO

La posibilidad de formación de hielo comienza en un nivel ligeramente superior a la isoterma de 0°C, siendo más probable que se produzca entre las isotermas de -10°C y -20°C.

La **Figura 8** ilustra sobre la formación de hielo en una nube convectiva de gran desarrollo vertical.

MONOGRAMA QUE SE UTILIZA PARA PRONOSTICAR LA FORMACION DE HIELO Y SU APLICACIÓN DURANTE EL VUELO (Figura 9)

Este gráfico que es empleado en las Oficinas Meteorológicas de Aeródromo (OMAs), puede ser de utilidad a los pilotos, pues si bien durante el vuelo se ignora el valor de la temperatura del punto de rocío (T_d), si se conoce la temperatura del aire (T), y al presentarse una nubosidad en el mismo nivel de vuelo, con toda lógica se puede suponer que se entrará en una zona de aire saturado, donde $T=T_d$, es decir que solamente

conociendo T se podrá utilizar el gráfico, por lo tanto se podrá deducir la probabilidad que se produzca engelamiento. Además se podrá tener una noción bastante exacta de la temperatura de la superficie de la aeronave teniendo en cuenta su velocidad.

Otro factor muy importante a tener en cuenta es el calentamiento cinético producido por el desplazamiento del avión, originado por la fricción y la compresión del aire. Dicho calentamiento mantiene a la aeronave a temperaturas superiores a los 0°C, con lo cual la formación de hielo se torna prácticamente imposible para aeronaves que desarrollan altas velocidades. La diferencia de temperatura entre la estructura del avión y el aire que lo rodea es del orden de 10°C para velocidades de 500km/h y de 39°C para 100km/h.

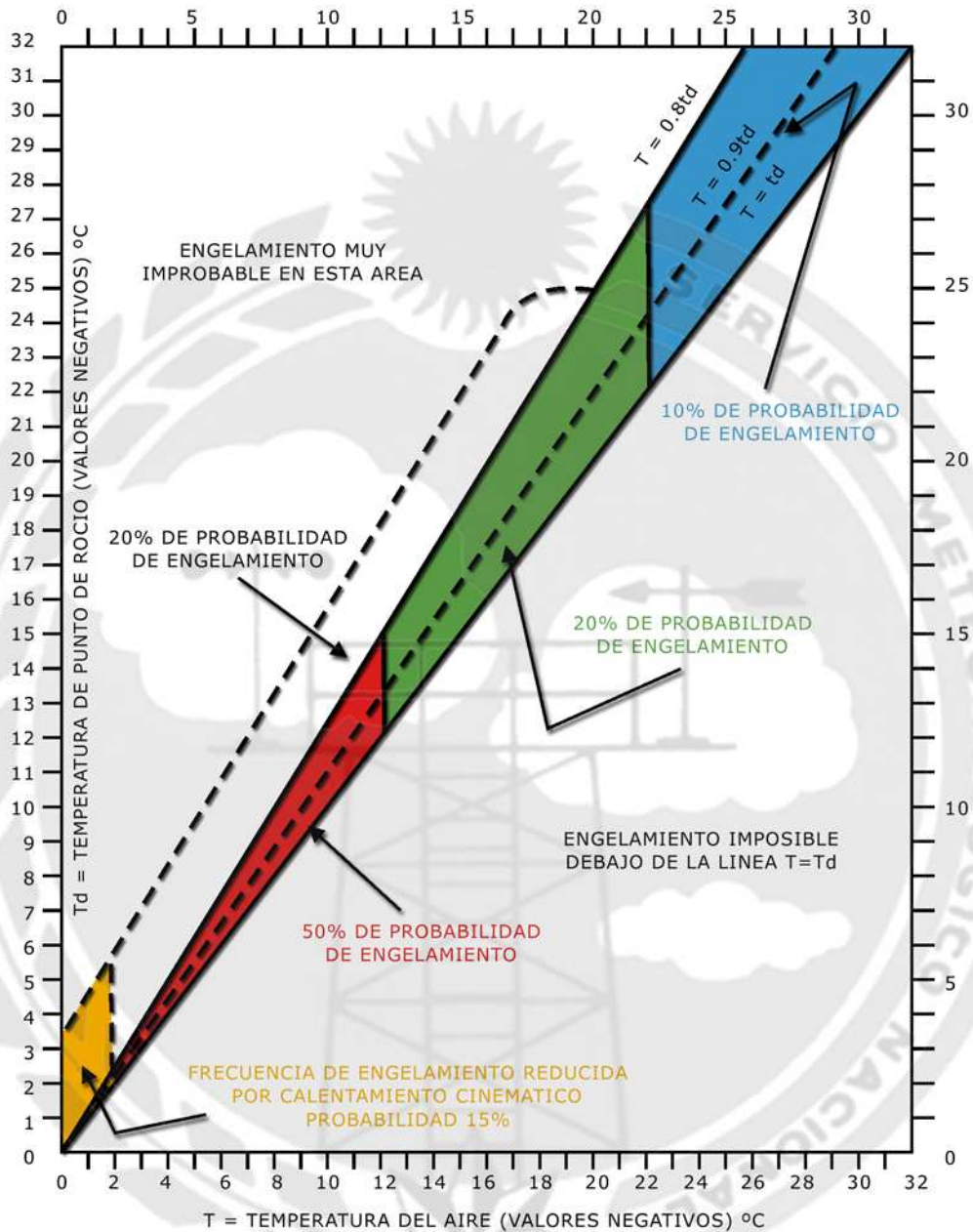
INFLUENCIA DE ACCIDENTES OROGRAFICOS EN LA FORMACION DE HIELO

Cuando el viento es perpendicular a una cadena montañosa se produce a barlovento un ascenso del aire y a sotavento un descenso del mismo y si la humedad es



FIGURA .9

MONOGRAMA - PROBABILIDADES EMPIRICAS DE ENGELAMIENTO EN NUBES ESTRATIFORMES

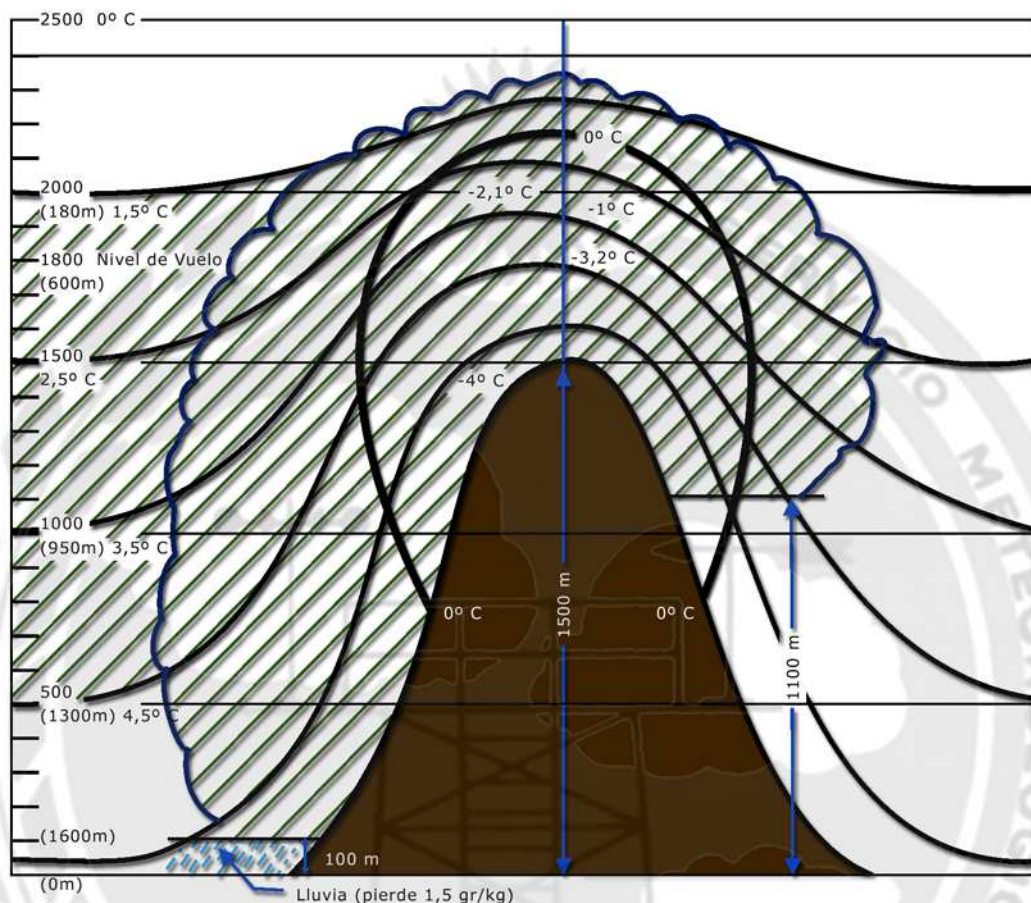


VELOCIDAD DEL AVION CON RESPECTO AL AIRE (Km)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
AUMENTO DE TEMPERATURA EN LA SUPERFICIE DEL AVION (°C)	0.4	1.6	3.5	6.2	9.6	13.9	19.0	24.6	31.2	38.7



FIGURA .10

TRATAMIENTO TEORICO DEL CAMPO DE TEMPERATURAS EN FLUJO DE AIRE SOBRE UNA CADENA MONTAÑOSA



Temperatura: 6° C
Presión: 1013 mb
Relación de mezcla: 5,5 gr/kg (hasta 500m)
Humedad Relativa: 96 %

T: 10° C
P: 1013 mb
RM: 4 gr/kg
HR: 52 %

NOTA: los números entre paréntesis indican los metros que se eleva cada parcela de aire estudiado.

suficiente, se formará la conocida nube de capuchón, con precipitaciones a barlovento.

El ascenso forzado del aire y su posterior descenso, hacen que la temperatura del mismo se modifique según un proceso adiabático en la zona de influencia de la montaña; este proceso conduce a la formación de una zona fría sobre la misma. Puede ocurrir que sobre la cima de la montaña se forme una cúpula de aire con temperaturas inferiores

a 0°C, y un avión volando a nivel dado con temperaturas positivas penetra de pronto en una zona de temperaturas negativas, puede provocar una rápida e imprevista formación de hielo. Este detalle debe ser tenido muy en cuenta cuando se sobrevuela una montaña donde se ha formado una **nube de capuchón**.

La **figura 10** ilustra sobre las modificaciones que se producen en las isotermas.



RECOMENDACIONES PARA OPERAR CON BAJAS TEMPERATURAS

PARA AVIONES A PISTON

1º - Siempre que sea posible, mantener el avión a cubierto en un hangar.

2º - Cuando por razones de fuerza mayor debe dejarse la aeronave a la intemperie, cubrir convenientemente las alas, el motor y el tubo Pitot.

3º - Antes del despegue, tratar de eliminar la escarcha que se haya formado en las distintas partes de la aeronave. (No usar agua caliente, puede tener consecuencias contraproducentes).

4º - Verificar que el compresor esté exento de hielo antes de poner en marcha él o los motores.

5º - Cerciorarse, concurriendo personalmente a la OMA (Oficina Meteorológica de Aeródromo) o bien consultando por algún medio de comunicaciones, acerca de las áreas favorables para la formación de hielo.

6º - Verificar el libre movimiento de las superficies de control, alerones, timón de dirección, de profundidad, etc.

7º - Carretear lentamente y usar los frenos con precaución.

8º - Antes del despegue, asegurarse del buen funcionamiento de los equipos anticongelantes y deshielante.

9º - Controlar la temperatura del despegue. Cuando la temperatura está

próxima a los 0°C, utilizar el calefactor para impedir la formación de hielo o eliminar el que se haya formado en el carburador. No calentar el carburador durante el despegue a menos que sea absolutamente necesario, pero en la fase en vuelo calentarlo antes que se forme.

10º - Evitar que sea posible, el despegue con nieve.

11º - Poner en funcionamiento el equipo de calefacción del tubo Pitot cuando vuelve en lluvia, nieve, nubes o zonas conocidas de formación de hielo.

12º - En condiciones de lluvia engelante, volar en la capa en la que la temperatura sea superior a 0°C, pues es el único procedimiento aconsejable para penetrar en un área con lluvia engelante.

13º - Cuando no se puede evitar la formación de hielo, elegir en lo posible la ruta y la altitud en las que el proceso sea menos intenso.

14º - Vigilar la velocidad del avión, pues su velocidad mínima de sustentación aumenta con la formación de hielo.

15º - Evitar giros bruscos cuando haya fuerte acumulación de hielo en la aeronave.

16º - Aumentar la potencia cuando se intente aterrizar con la formación de hielo a bordo.



PARA AERONAVES CON REACTORES

La operación del avión a reactor en condiciones de formación de hielo, presenta en la actualidad algunos problemas que en su mayoría se hallan vinculados con las fases de despegue, ascenso, aproximación y aterrizaje.

Se anuncian a continuación algunas recomendaciones de carácter general que tienden a completar los procedimientos operativos normales de cualquier tipo de reactor en las fases previas al despegue, en vuelo, aproximación y aterrizaje.

• **Antes y durante el despegue**

1º - Aún cuando pueda operarse con una delgada capa de escarcha y /o nieve en los planos de sustentación, es menester asegurarse que todas las superficies de control estén libres de hielo o nieve. La nieve seca depositada en los planos y superficies de control deberán eliminarse mediante escobillas de cerda suave, en tanto que la nieve disuelta y vuelta a congelar sobre las superficies de la aeronave, deberán eliminarse mediante aire caliente o fluidos deshielantes.

2º - Eliminar toda la nieve y hielo depositados en las tomas de aire, del turbo generador, y del capó.

3º - Antes de poner en marcha el reactor asegurarse de la libertad de movimiento del compresor, operando manualmente los álabes.

4º - Durante las operaciones en tierra, cuando existan condiciones de formación de hielo, tener en funcionamiento el sistema anticongelante.

• **En las fases de rodaje, despegue, ascenso inicial, aproximación y aterrizaje**

5º - Cuando la suma algebraica de la temperatura del aire y la del punto de rocío sean igual o inferior a -4°C o la humedad se haga visible bajo la forma de niebla, neblina, lluvia o nieve, poner en funcionamiento los sistemas antihielo del motor.

6º - No es recomendable iniciar el despegue cuando en la pista haya una

acumulación de nieve fangosa o húmeda de más de 1 cm ó 1,5 cm de espesor.

• **En vuelo (penetración en zona de formación de hielo)**

7º - Antes de penetrar en una zona de formación de hielo, pronosticada o estimada, activar todos los sistemas de protección antihielo y verificar su normal operación.

• **En circuito de espera**

8º - No extender los flaps cuando existan condiciones de formación de hielo.

• **En las fases de aproximación y aterrizaje**

9º - Cuando una gran cantidad de hielo permanezca sobre los planos y bordes de ataque, deberán incrementarse las velocidades de aproximación y aterrizaje, de acuerdo a lo indicado por los manuales operativos.

10º - Durante el descenso, en la medida de lo posible, no extender los flaps en condiciones de formación de hielo.

• **General**

11º - En los parabrisas, para asegurar buena visibilidad, mantener en funcionamiento el sistema antihielo en las operaciones de rodaje, despegue, aproximación y aterrizaje.

