

**Capítulo 11A – La operación en tiempo frío****Índice****Sección 1 – Generalidades**

1. Objetivo
2. Definiciones y abreviaturas
3. Introducción

**Sección 2 – Contaminación del avión en tierra**

1. Generalidades
2. Listas de verificación y requisitos básicos para el deshielo/antihielo
  - 2.1 Responsabilidades
  - 2.2 Necesidad
  - 2.3 Concepto de aeronave limpia

**Sección 3 – Contaminación del avión en vuelo****Sección 4 – Efectos en la altimetría**

- 1 Efecto de la baja temperatura en la altimetría
2. Los errores del altímetro
3. Correcciones a las altitudes
  - 3.1 Correcciones de temperatura a baja altitud
    - 3.1.1 Aplicación de correcciones a baja altitud.
  - 3.2 Correcciones de temperatura a gran altitud (en ruta)
  - 3.3 Márgenes en el despegue

**Sección 5 Congelamiento del combustible****Sección 6 –Performance en pistas contaminadas****Sección 7 – GRF**

## Sección 1 – Generalidades

### 1. Objetivo

El propósito de este capítulo es instruir a los IOs de la ANAC sobre la operación de aeronaves en condiciones de tiempo frío y tratar aspectos tales como: la contaminación de aviones y el deterioro de la performance en cada una de las fases del vuelo, incluyendo el desplazamiento del avión por las calles de rodaje; las limitaciones de congelamiento del combustible y las correcciones altimétricas. En síntesis, el objetivo de este capítulo es explicar algunas de las dificultades encontradas por la tripulación de vuelo durante las operaciones invernales o en aire frío y húmedo, ya que muchas formas de hielo pueden depositarse o acumularse en diversas partes del avión, tanto en vuelo o en tierra y afectarán adversamente su performance.

Se hace dificultoso determinar cuánto se afecta la performance, ya que hay casos en que una cantidad de hielo que parece benigna, luego se apreciará una alta degradación de la performance. El análisis de los registros sobre accidentes/incidentes relacionados con este fenómeno exige que los pilotos incrementen sus conocimientos sobre la formación de hielo como factor clave en la seguridad del vuelo bajo estas condiciones.

### 2. Definiciones y abreviaturas

Estas definiciones y abreviaturas se complementan con las del Capítulo 11B de este Manual.

#### 2.1 Definiciones

Acción de frenado: Es un reporte de las condiciones en las áreas de movimiento de un aeródromo, proporcionando a los pilotos la calidad o grado de frenado que pueden esperar. Es reportada en términos de acción de frenado: buena, mediana, de mediana a pobre, pobre, NIL o no confiable.

Aguanieve: Es una precipitación en forma de lluvia y nieve mezcladas. Para operaciones en aguanieve ligera, trátela como lluvia engelante ligera.

Área crítica de contacto del neumático con el suelo: área (aproximadamente 4 m<sup>2</sup> para la aeronave más grande actualmente en servicio) que está sujeta a fuerzas que impulsan las características de rodamiento y frenado de la aeronave, así como el control direccional.

Clave de estado de la pista (RWYCC): Número que describe el estado de la superficie de la pista que se utilizará en el informe del estado de la pista.

Código antihielo: Describe el tipo de tratamiento que la aeronave ha recibido y proporciona información para la determinación del HOT.

Coeficiente de fricción: Es la relación entre la fuerza de fricción que actúa sobre las ruedas y la fuerza normal de las ruedas. La fuerza normal depende de la masa de la aeronave y de la sustentación de las alas.

Condiciones de engelamiento: Son condiciones en las que la temperatura exterior está por debajo de 3°C y existe humedad visible en cualquier forma (tal como niebla, lluvia, nieve, llovizna, aguanieve o cristales de hielo, agua estancada, que se muestran presentes en la pista).

Condiciones de hielo: Pueden esperarse cuando la OAT (en tierra y en despegue) o la TAT (en vuelo) están a, o por debajo de 10°C y existe humedad visible en el aire (tal como nubes, niebla con baja visibilidad de una milla o menos, lluvia, nieve, aguanieve y cristales de hielo). Estarán presente en calles de rodaje o pistas, agua estancada, aguanieve, hielo o nieve.

Contaminante: Depósito (como nieve, aguanieve, hielo, agua estancada, lodo, polvo, arena, aceite y caucho)

en el pavimento de un aeródromo, cuyo efecto es perjudicial para las características de fricción de la superficie del pavimento.

Empapado: Hasta en temperatura ambiente entre -2°C y por lo menos 15°C, podrá producirse hielo, escarcha o heladas en la presencia de humedad visible o alta condición de humedad, si la estructura de un avión permanece a 0°C o por debajo. Cada vez que se produce precipitación y ésta cae sobre un avión “empapado” mientras se encuentra en tierra, puede formarse hielo claro. Esto es más probable que ocurra en aeronaves con tanques de combustible integrales luego de un vuelo prolongado a grandes altitudes. El hielo claro es muy difícil de detectar visualmente y puede perderse durante el despegue o luego del mismo. Lo siguiente, puede tener un efecto en alas empapadas: la temperatura del combustible en sus células, la temperatura del combustible recién cargado y la cantidad de tiempo desde el reaprovisionamiento.

Escarcha: Ésta consta de cristales de hielo que se forman de la humedad que existe en el aire, sobre una superficie cuya temperatura está por debajo del punto de congelación. La escarcha difiere del hielo en que los cristales de aquélla crecen de manera independiente y, por lo tanto, poseen una textura más granular.

Fricción: Una fuerza resistente a lo largo de la línea de movimiento relativo entre dos superficies en contacto.

Fuerza cortante: Es una fuerza aplicada lateralmente con un fluido anti-congelante. Cuando se aplica a un fluido Tipo II o Tipo IV, la fuerza cortante reducirá la viscosidad del fluido; cuando deja de aplicarse la fuerza cortante, el fluido recuperará su viscosidad.

Gotas de agua sobre-enfriadas: Gotas en una condición donde el agua permanece líquida a temperaturas negativas (Celsius). Son inestables y se congelan al impactar.

Granizo: Es una precipitación de bolas pequeñas o de pedazos de hielo, con un diámetro que va desde 5 hasta 50 mm, que cae separadamente o en forma aglomerada.

Granizo pequeño: Es una precipitación de granizo pequeño transparente o translúcido de forma esférica o irregular. Habitualmente rebota cuando golpea objetos duros.

Hidroplaneo: Es una situación donde las ruedas de una aeronave son separadas de la superficie de la pista por una capa fina de fluido.

Hielo: Agua congelada o nieve compacta que pasó al estado de hielo en condiciones frías y secas.

Hielo escarchado: Hielo que está lleno de burbujas de aire y/o agua que fluyen a través de él.

Intensidad de precipitación: Es una indicación de la cantidad de precipitación que cae para el momento de la observación. Se expresa como ligera, moderada o intensa. Cada intensidad se define con respecto al tipo de precipitación que está ocurriendo, con una tasa basada en la caída de lluvia, nieve, granizo, etc., por unidad de tiempo.

Matriz de evaluación del estado de la pista (RCAM): Matriz que permite evaluar la clave de estado de la pista, utilizando procedimientos conexos, a partir de un conjunto de condiciones de la superficie de la pista que se haya observado y del informe del piloto acerca de la eficacia de frenado.

Nieve: Precipitación de cristales de hielo, la mayoría de los cuales son copos con forma estrellada o mezclada con cristales “bifurcados” y en forma de estrellas, o mezclados con cristales enteros. A temperaturas >-5°C los cristales están generalmente aglomerados en forma de hojuelas de nieve.

- a) Nieve seca: Nieve que puede ser soplada de estar suelta; o al estar compactada por mano, caerá en pedazos al soltarse, con gravedad específica de hasta 0.35 (sin incluirse). La nieve seca se espera, normalmente a temperaturas por debajo del nivel de englamiento y podrá ser sacudida (con una brocha) de la superficie del avión;
- b) Nieve mojada: Nieve que, de ser compactada a mano, permanecerá junta con tendencia a formar una bola de nieve. Se consigue generalmente a temperaturas por encima del punto de englamiento

y se adhiere fácilmente y con dificultad mayor para despegarla; y

- c) Nieve compactada: Nieve que ha sido compactada en una masa sólida que resistirá una nueva compresión y se mantendrá junta y se romperá en trozos si se recoge. Los neumáticos del avión, a presiones y cargas operacionales, pasarán sobre la superficie sin que ésta se compacte más o haga surcos.
- d) Nieve fundente: Nieve tan saturada de agua que al recoger un puñado el agua escurrirá de ella o, si se ejerce fuerza al pisarla, salpicará.

Pista contaminada: Se considera una pista contaminada cuando más del 25% del área (sean áreas aisladas o no) en largo y ancho está cubierta con lo siguiente:

- a) agua en la superficie de más de 3 mm (0.125") de profundidad o aguanieve o nieve suelta, equivalentes a más de 3 mm (0.125") de agua; o
- b) nieve que ha sido comprimida como una masa sólida que resiste mayor compresión manteniéndose compacta o rompiéndose en terrones (nieve compactada); o
- c) hielo, incluyendo hielo mojado.

Pista congelada: Se considera una pista congelada cuando el coeficiente de fricción está a, o por debajo de 0.05.

Pista húmeda: Se considera húmeda una pista cuando su superficie no está seca, pero cuando la humedad sobre ésta carece de apariencia brillante.

Pista mojada: Se considera una pista como mojada, cuando su superficie está cubierta con agua o su equivalente, menos de o igual a 3 mm de profundidad o cuando hay suficiente humedad sobre la superficie de la pista como para que aparezca reflectora, pero sin grandes áreas significativas de agua estancada.

Pista mojada resbaladiza: Una pista mojada respecto de la cual se ha determinado que las características de fricción de la superficie en una porción significativa de la pista se han deteriorado.

Pista ranurada (con surcos) Véase pistas secas. Pista pavimentada que ha sido construida y mantenida con ranuras laterales o una superficie de curso de fricción porosa (PFC) para mejorar las características de frenado cuando está mojado de conformidad con el Manual de diseño de aeródromos (Doc. 9157) o equivalente.

Pista seca: Es aquella que no está contaminada e incluye aquellas partes pavimentadas que han sido especialmente preparadas con surcos o pavimento poroso para retener la "acción de frenado", aún en condiciones de humedad presente.

Precipitación: Agua líquida o congelada que cae de las nubes en forma de lluvia, llovizna, nieve, granizo o aguanieve.

Punto de rocío: Es la temperatura a la cual el vapor de agua comienza a condensarse.

Resistencia al deslizamiento: (Skid resistance) Resistencia al deslizamiento (número de fricción): la capacidad de la superficie recorrida para evitar la pérdida de tracción del neumático.

Saturación: Es la máxima cantidad de agua o vapor de agua permisible en el aire.

SNOWTAM: NOTAM de una serie especial, presentado en un formato normalizado en que se proporciona un informe del estado de la pista que notifica la presencia o el cese de condiciones peligrosas debidas a nieve, hielo, nieve fundente, escarcha, agua estancada o agua relacionada con nieve, nieve fundente, hielo o escarcha en el área de movimiento.

Visibilidad en tierra: Es la visibilidad en un aeródromo, tal como es reportada por un observador acreditado.

## 2.2 Abreviaturas

ARC	Comité de Reglamentación de la Aviación (FAA)
AoA	Ángulo de ataque
ATIS	Servicio automático de información terminal
C <sub>D</sub>	Coeficiente de resistencia
C <sub>L</sub>	Coeficiente de sustentación
ETD	Hora prevista de salida
GAPPRE	Plan de acción global para la prevención de salidas de pista.
GRF	Formato global de reporte del estado de pista
NAI	Antihielo de las nacelas
NIL	Nulo
RBA	Reporte de la acción de frenado (dado por el piloto)
RCAM	Matriz de evaluación del estado de la pista
RCR	Informe del estado de pista
RWYCC	Clave del estado de pista
SAT	Temperatura del aire estático
TALPA	Evaluación del Desempeño de Despegue y Aterrizaje (FAA)
TAT	Temperatura total de aire
VLS	Velocidad más baja elegible
WAI	Antihielo de las alas

## 3. Introducción

3.1 Efectos de la contaminación en las distintas fases del vuelo: Si bien es cierto que estos fenómenos son perjudiciales en todas las operaciones, se hace necesario separarlos aquí para que la explicación sea más sencilla y didáctica. Por tal motivo, se ha dividido el temario en:

- a) Contaminación de la aeronave en tierra.
- b) Contaminación de las aeronaves en vuelo.
- c) Performance en pistas contaminadas.
- d) Limitaciones por englamamiento del combustible.
- e) Efectos en la altimetría.

### Sección 2 – Contaminación de la aeronave en tierra

1. Generalidades: La contaminación de aeronaves en tierra, aparte de los daños materiales que puedan producirse, pone en peligro la seguridad del despegue y, en consecuencia, debe ser evitada. El avión tendrá que ser limpiado. Para asegurarse que el despegue se realiza con un avión limpio, es indispensable una inspección externa de previa al despegue. Existen procedimientos estrictos y verificaciones que deben ser cumplidas; la responsabilidad en aceptar el estatus de la aeronave está claramente definida en la normativa

vigente y recae en el PIC.

1.1 Antes del despegue, luego de cualquier precipitación o cuando el avión haya permanecido en tierra durante el pernocte o períodos prolongados, las superficies de la aeronave deben ser totalmente despejadas de hielo y nieve. De otra forma, el vuelo no podrá despegar.

1.2 A la fecha, se encuentran disponibles algunos sistemas opcionales de detección de hielo operables en tierra. Sin embargo, éstos no reemplazan a los procedimientos establecidos en el AFM. De todas formas, antes del vuelo; siguen siendo obligatorios. Estos dispositivos de detección temprana de engelamiento aún están a título de prueba.

1.3 El aspecto más importante de los procedimientos de deshielo / anti-hielo es el tiempo de efectividad del procedimiento, llamado Holdover Time (HOT). Éste depende de las condiciones del meteorológicas (precipitación, viento y OAT) y del tipo de fluidos utilizados para deshelar el avión.

1.4 Si bien se publican tablas de HOT, éstas deben ser empleadas solamente como guía, ya que muchos de los parámetros que influyen sobre su eficiencia, como las condiciones meteorológicas severas, la velocidad del viento y las ráfagas provocadas por las turbinas o hélices de otras aeronaves, acortarán considerablemente el tiempo de protección.

1.5 Existen a disposición de los usuarios diferentes tipos de fluidos (Tipos I, II y IV). Ellos difieren en los componentes químicos, su viscosidad (capacidad para adherirse a la superficie del avión) y su consistencia (capacidad para absorber altas cantidades de contaminantes), proveyendo así tiempos variables de HOT.

1.6 Operación invernal de explotadores titulares de un CESA: La operación segura de aeronaves en condiciones de tiempo invernal presenta serios y específicos problemas, aparte de los operacionales y técnicos ya tratados, por ejemplo, el tiempo que las aeronaves permanecen en tierra y las demoras en los horarios de vuelo producto de los procedimientos de deshielo/antihielo. Esto podrá ser minimizado mediante un programa preventivo de "servicios en operaciones invernales". En primer término, el explotador deberá desarrollar los programas pertinentes dedicados a requerimientos específicos. Estos estarán basados en:

- a) su experiencia en operaciones invernales;
- b) el equipamiento y material disponibles; y
- c) las condiciones climáticas existentes en los aeródromos de destino y en sus alternativas.

1.6.1 Los manuales de tráfico y los manuales de mantenimiento respectivos de los explotadores deberán tratar estos puntos al detalle. También los manuales de despacho y control de las operaciones aunados a los respectivos manuales de las escalas, contendrán secciones relativas a la operación en tiempo frío y las referencias a las operaciones de deshielo y antihielo en tierra.

## 2. Listas de verificación y requisitos básicos para el deshielo/antihielo

2.1 Responsabilidades: Una persona técnicamente capacitada y designada, será responsable de la performance y la verificación de los resultados del tratamiento de deshielo /antihielo. La responsabilidad de aceptar el tratamiento, sin embargo, recae en el PIC. Previamente al tratamiento, y después de una inspección visual a la aeronave, el equipo de trabajo integrado por el PIC, el jefe de estación, la persona responsable del tratamiento por parte del explotador y el técnico de la empresa contratista encargada de la aplicación del tratamiento deshielo/antihielo, se reunirán y en un briefing decidirán la necesidad de la aplicación, la coordinación con la puesta a punto del embarque de pasajeros y del momento de la aplicación. El programa del titular del CESA deberá definir las responsabilidades operacionales y contener los procedimientos para la tripulación de vuelo, los despachantes de aeronaves, seguidores de vuelos y del personal de mantenimiento o de tierra que estén involucrados en el uso de las tablas de HOT y las acciones resultantes si determinados tiempos de efectividad son excedidos. El inicio del HOT será informado al PIC. La transferencia de responsabilidades toma lugar al momento en que la aeronave empieza a moverse por sus propios medios.

2.2 Necesidad: Pueden esperarse condiciones de engelamiento en tierra cuando la temperatura se aproxima o cae por debajo de las temperaturas de engelamiento y cuando la humedad o la helada ocurren en forma de precipitación o condensación. Circunstancias relacionadas con la aeronave, también podrían resultar en acumulación de hielo, cuando la humedad del aire a temperaturas por sobre las de engelamiento entran en contacto con la estructura fría.

2.3 Concepto de aeronave limpia: Se considera que un avión está limpio cuando todas sus superficies están completamente limpias o protegidas por fluido de deshielo/antihielo y las características aerodinámicas de su superficie no se ven afectadas. Las preguntas que los involucrados deben hacerse son:

- a) Deshielo: ¿Las condiciones de escarcha, hielo, nieve o aguanieve son tales que se necesite un procedimiento de deshielo para proporcionar superficies limpias antes del arranque de motores?
- b) Antihielo: ¿La precipitación significa un riesgo tal que se necesite un procedimiento antihielo para asegurar superficies limpias para el arranque de motores?
- c) Verificaciones: ¿Posee suficiente información y adecuado conocimiento como para despachar el avión?

2.4 Esta Sección 2 ofreció una amplia introducción sobre la contaminación en tierra causada por los elementos engelantes. El tema será desarrollado en el capítulo "Programa de deshielo/antihielo en tierra" (Capítulo 11B).

## Sección 3 – Contaminación de la aeronave en vuelo

### 1. Objetivo

El objetivo de esta sección es explicar algunas de las dificultades encontradas por la tripulación de vuelo en operaciones de invierno o en aire frío y húmedo. Muchas formas de hielo pueden depositarse o acumularse sobre la estructura del avión, en vuelo o en tierra y esto afectará su performance. No es muy fácil determinar en cuánto se afectará la performance, ya que hay casos donde la cantidad de hielo parece benigna y produce una gran degradación de la performance de vuelo. El caso opuesto, también podría ser cierto. Sin embargo, a través de los registros de accidentes e incidentes se desprende que un alto nivel de concientización y de alerta entre los tripulantes de vuelo es un factor determinante en prevenir y dominar la amenaza de hielo.

### 2. La contaminación en sí

2.1 Contaminación de aeronaves en vuelo: Los tratados de meteorología y de física atmosférica refieren que las condiciones de hielo generalmente ocurren desde la temperatura de congelación del agua (0°C) hasta -40°C y más probablemente alrededor de los 10 000 ft. No obstante, debe entenderse que las condiciones de hielo severo raramente ocurren por debajo de los -12°C. Temperaturas (OATs) ligeramente positivas no protegen contra el hielo y esas condiciones de hielo pueden ser potencialmente encontradas a cualquier altitud o nivel de vuelo.

2.1.1 Altas proporciones de acumulación: Estas no están necesaria ni sistemáticamente asociadas a los cumulonimbus o a otras nubes de desarrollo vertical; las nubes estratiformes pueden generar altas cantidades de hielo sobre las superficies del avión o de sus perfiles aerodinámicos. Las condiciones de hielo son bastante más frecuentes que la acumulación de hielo efectiva. Las condiciones de engelamiento no conducen necesariamente a la acumulación de hielo. Si la tripulación de vuelo encuentra condiciones de formación de hielo en vuelo, algunas de las recomendaciones más acertadas son:

- a) además de usar el antihielo de las nacelas (NAI) y el antihielo de las alas (WAI) en concordancia con los procedimientos, el PIC deberá vigilar el proceso de engelamiento: proporción de acumulación y tipo de nube;
- b) cuando se encuentre una rápida formación de hielo en una nube estratiforme, un cambio moderado de altitud reducirá significativamente la tasa de engelamiento. Es obligatorio que el controlador de ATC o de ATS acepte el cambio de altitud;
- c) si prevalecen las condiciones de engelamiento durante la aproximación, mantenga la velocidad tan alta como sea posible o permitida, demore la extensión de los flaps tanto como sea posible y no retraiga los flaps luego de aterrizar;
- d) antes del despegue, las superficies de la aeronave deben ser totalmente despejadas de hielo y nieve luego de cualquier precipitación o cuando ésta haya permanecido en tierra durante el pernocte. De otra forma, el vuelo no podrá despegar;
- e) se encuentran disponibles y activados en algunas marcas de aviones algunos sistemas opcionales de detección de hielo; Sin embargo, los procedimientos establecidos en el AFM igualmente deben ser cumplidos. Los dispositivos de detección temprana de engelamiento aún están a título de prueba;
- f) el aspecto más importante de los procedimientos de deshielo/antihielo es el HOT. Esto describe el período de tiempo de la protección del deshielo. El HOT depende de las condiciones meteorológicas (precipitación, viento y OAT) y del tipo de fluidos utilizados en el proceso;
- g) las tablas publicadas deberán ser utilizadas como guía solamente, ya que muchos de los parámetros que influyen sobre su eficiencia, como las condiciones del tiempo severo, alta velocidad del viento y las ráfagas de las turbinas de otros aviones acortarán considerablemente el tiempo de protección; y
- h) están a disposición diferentes tipos de fluidos (Tipos I, II y IV). Difieren en los componentes químicos, su viscosidad (capacidad para adherirse a la superficie del avión) y su consistencia (capacidad para absorber altas cantidades de contaminantes), proveyendo así tiempos variables de HOT.

## 2.2 Principios del engelamiento

2.2.1 Física atmosférica elemental: El agua es un componente bien conocido del aire. El aire claro incluye vapor de agua en proporciones variables, de acuerdo a su temperatura (temperatura de aire estático (SAT) o OAT). La cantidad máxima de vapor de agua permisible dentro de la masa de aire es de alrededor de  $0.5\text{g/m}^3$  a  $0^\circ\text{C}$  para altitudes moderadas. Estas condiciones limitantes se conocen con el nombre de saturación. Cualquier cantidad de agua en exceso de las condiciones de saturación se mostrará en la forma de gotas de agua o cristales de hielo. Esto forma las nubes.

### 2.2.2 Las condiciones de saturación pueden ser excedidas por dos procesos

- a) por la elevación de la masa de aire caliente. Esto puede ser producido por inestabilidad meteorológica o por la orografía. La inestabilidad está asociada a los sistemas del tiempo o a las perturbaciones de grandes cantidades de nubes. El efecto orográfico se debe al viento que sopla sobre la montaña y de aquí, el levantamiento de la masa de aire por el lado expuesto;
- b) por el rápido enfriamiento de la capa de aire más baja durante una noche de aire claro;
- c) En estas dos condiciones, la cantidad de agua inicialmente presente en la masa de aire puede exceder las condiciones de saturación a la nueva temperatura más baja. El exceso de agua se precipita en forma de gotas, gotitas o cristales de hielo.

El fenómeno del engelamiento se debe al hecho que el agua no se convierte necesariamente en hielo justo a, o por debajo de  $0^\circ\text{C}$ . El agua puede permanecer líquida a temperaturas negativas; entonces, se le llama sobre-enfriada. Estas gotas son inestables; pueden congelarse rápidamente si golpean o son golpeadas por un objeto, especialmente si el objeto está a una temperatura negativa. Este es el mecanismo para el engelamiento de aviones.

### 2.2.3 Consecuencias de lo tratado anteriormente son las siguientes:

- a) el rango de la OAT para engelamiento es ligeramente positivo en  $^\circ\text{C}$ , bajando hasta  $-40^\circ\text{C}$ ; pero el

engelamiento severo raras veces ocurre a temperaturas menores a  $-12^{\circ}\text{C}$ . Esto se puede traducir en altitudes: a altitudes medianas, es donde con más probabilidad ocurrirá la formación de hielo severo, concretamente en los alrededores de los 10000 ft, bajando hasta el terreno;

- b) debido a las condiciones variables de la temperatura alrededor de la estructura del avión, una OAT ligeramente positiva no protege del engelamiento severo;
- c) la acumulación de hielo (engelamiento) ocurre en las partes “penetrantes” o que sobresalen de la estructura del avión: nariz, alas o flaps, los bordes de ataque de la cola del avión, las tomas de aire de los motores, antenas, etc.;
- d) en tierra, en adición a todos los tipos de precipitación, (nieve, lluvia engelante), la estructura completa pudiera estar cubierta por escarcha. Eso ocurre casi sistemáticamente durante las noches, si el cielo está claro y la temperatura oscila alrededor de  $0^{\circ}\text{C}$  o más fría; y
- e) la mayor parte del tiempo, las condiciones engelantes no duran todo el tiempo en el cielo. Esta es la razón de la poca confiabilidad de los PIREPs o de la ausencia de estos, para detectar condiciones de engelamiento.

#### 2.2.4 Meteorología elemental

2.2.4.1 Se puede encontrar agua sobre-enfriada en muchos tipos de nubes en la atmósfera, siempre y cuando la temperatura esté por debajo - y no mucho - del punto de engelamiento. Nubes grandes de convección, como grandes cúmulos o cumulonimbos son buenas fuentes. Aparte de los posibles efectos del granizo, son reales amenazas, porque a diferencia de otras clases de nubes, las condiciones de engelamiento pueden encontrarse fuera del cuerpo de la nube, por ejemplo, bajo el yunque. Los yunques generan a menudo llovizna o lluvia engelantes. La precipitación bajo un yunque puede conducir a engelamiento severo.

En latitudes tropicales, esto puede suceder a grandes altitudes y fuera de temperaturas exteriores donde normalmente no se espera formación de hielo. Sin embargo, esta condición dura poco. Una buena precaución operacional sería evitar volar debajo del yunque cuando se está rodeando un cumulonimbo.

2.2.4.2 Las capas de nubes estratiformes, sin tomar en cuenta su grosor, pueden exhibir grandes cantidades de gotas congeladas, incluyendo llovizna engelante. Esto ocurre porque, a pesar de su apariencia estratiforme, incluye alguna actividad limitada, pero continuamente convectiva (generadora de calor), que la sitúa en una posición ideal para generar llovizna engelante.

2.2.4.3 La meteorología provee una clasificación de las gotas de agua sobre-enfriadas, de acuerdo a su diámetro en micrones de tamaño de la gota (un micrón =  $1\ \mu\text{m}$  = una milésima de milímetro).

- a) de 0 a  $50\ \mu\text{m}$ : gotas sobre-enfriadas estándar. Permanecen en el aire y forman nubes;
- b) 50 a  $500\ \mu\text{m}$ : llovizna engelante. Se hunden muy lento y generan formas de hielo curiosas; y
- c) 500 a  $2000\ \mu\text{m}$ : lluvia engelante. Cae y conduce a hielo claro.

2.2.4.4 Según los físicos especializados en nubes ninguna nube jamás es formada por gotas de un solo tamaño. Una nube puede ser descrita en forma inequívoca por su espectro de gotas. Se considera que las nubes sobre-enfriadas más comunes contienen un espectro de gotas entre 0 y  $50\ \mu\text{m}$ , que culminan en  $20\ \mu\text{m}$ . Cuando se encuentre presente llovizna engelante, su espectro no cambiará radicalmente; sin embargo, se observan “picos” que muestran unos  $200\ \mu\text{m}$ , con muy pocas gotas entre ellas.

#### 2.2.5 Formas de hielo acumuladas en vuelo

2.2.5.1 La experiencia de engelamientos en vuelo demuestra que hay una gran variedad de formas y texturas en la acumulación del hielo. En general, son muy diversas, aunque generalmente son simétricas.

2.2.5.2 Existe una gran cantidad de parámetros que pueden influenciar en el proceso de engelamiento.

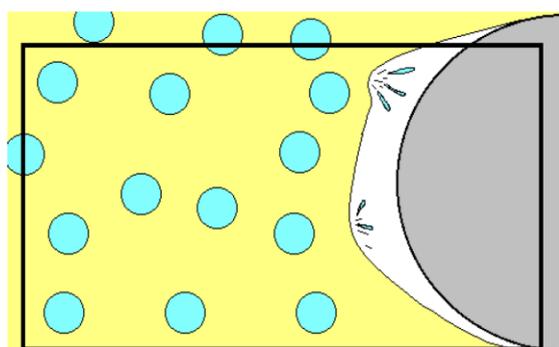
Esta lista no es completa:

- a) temperatura del aire: OAT o SAT;
- b) velocidad de la aeronave o temperatura total del aire (TAT);
- c) tamaño de la aeronave;
- d) tipo de nube;
- e) tipo de precipitación;
- f) contenido de agua en la masa de aire;
- g) distribución del tamaño de las gotas líquidas;
- h) posible presencia de cristales de hielo;
- i) contenido total de agua en la masa de aire;
- j) temperatura local de la superficie de la aeronave y capacidad calórica; y
- k) tipo y alcance del sistema para deshielo y anti-hielo.

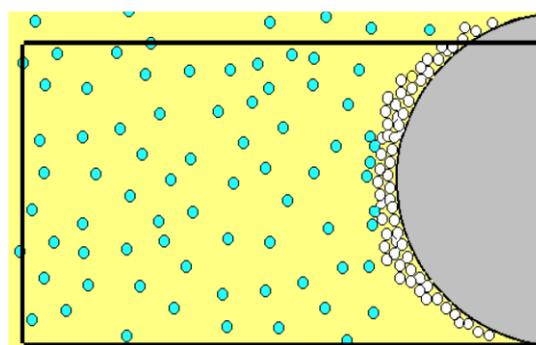
2.2.5.3 La influencia individual de cada parámetro anotado arriba, presenta un problema teórico de mucha dificultad. Las diversas influencias no deben considerarse en forma aditiva. En consecuencia, los distintos tipos de hielo que pueden formarse son variables y muchas veces mezclados entre sí. A pesar de que son varios los factores involucrados y sin hacer distinciones sobre su peligrosidad, distinguimos tres tipos de hielo:

- Claro o cristalino, también llamado glaseado; hielo transparente o translúcido con aspecto superficial vidrioso.
- Opaco, a veces también llamado “granular” o “granulado” (rime ice), de forma rugosa, blanca y opaca. Quebradizo.
- Una combinación de ambos. Desde luego, el límite entre ambos es demasiado difícil de establecer.

El hielo claro se forma por la relativamente lenta congelación de grandes gotas de agua sobre-enfriadas. Es más denso. En cambio, el hielo granulado se forma por el rápido congelamiento de pequeñas gotas de agua sobre-enfriada al contactar con la aeronave. En este proceso se forman pequeñas burbujas de aire, lo que le da un aspecto opaco. Es poroso y quebradizo. Las bajas temperaturas, la menor cantidad de agua líquida, las velocidades bajas, y las gotas pequeñas favorecen su formación.



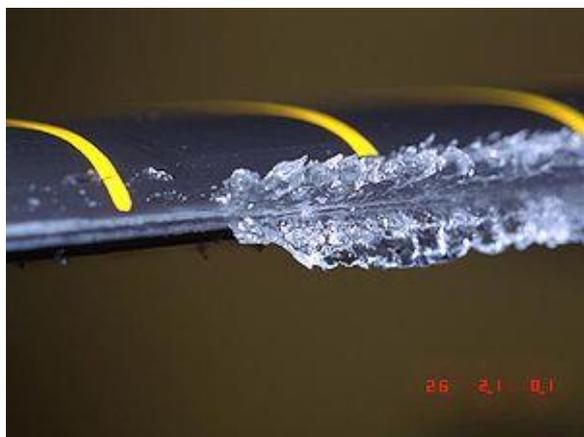
Hielo claro



Hielo granulado

Las formas que pueden adquirir es otra cuestión de importancia en cuanto a los efectos sobre la aeronave. Si bien todos los factores meteorológicos descriptos son componentes en la ecuación, la velocidad tiene también su importancia al afectar la temperatura del objeto expuesto. Si hay más temperatura, el contenido de agua en

la atmósfera es mayor y las gotas son más grandes; encontrándose así una de las peores condiciones. Una vez que comenzó la formación de hielo, las sucesivas gotas que impactan irán congelándose cada vez más atrás del punto inicial de impacto creando una sección transversal con forma de cuerno (horn-shaped). Puede ser un cuerno simple o doble.



Forma de cuerno doble



Run-back ice

Una formación de hielo particularmente insidiosa es la que se forma detrás de la zona calefaccionada de los bordes de ataque, llamado “run-back ice”. El agua escurre por el borde de ataque, pero luego, al enfriarse se congela nuevamente formando una protuberancia que destruye la sustentación. Este tipo de engelamiento también puede encontrarse en las palas de las hélices de materiales compuestos debido a la dificultad de transmisión del calor de los mecanismos de protección.

La innumerable variedad de formas del hielo, particularmente aquellas formadas por hielo escarchado revelan cuán complejo puede ser el proceso de acumulación de hielo.

2.2.5.4 La observación sobre la formación de hielo en vuelo sugiere fuertemente que el hielo que se acumula efectivamente en las superficies del avión es el diferencial resultante del agua sobre-enfriada que golpea la estructura, más posibles cristales de hielo y la cantidad de agua que sale, producto de una mezcla de erosión, evaporación y sublimación. El efecto combinado de esos factores antes mencionados es sustancial y, algunas veces, uno cualquiera de ellos es tan dominante que dentro del proceso general de engelamiento no se acumula hielo en cantidad significativa. En este contexto, es muy difícil describir, clasificar o predecir las formas que adoptará el hielo. Por lo tanto, las medidas que se tomen por la protección antihielo necesitan estar basadas en una suerte de definición de un escenario como el peor caso. El CFR 25 (ex-FAR 25), en la Parte 1 del Apéndice C describe los dos casos que serán usados para el diseño y certificación de los sistemas de protección contra el hielo:

- Formación de hielo máxima continua, que cubre el vuelo en nubes estratiformes
- Formación de hielo máxima intermitente, que cubre el vuelo en nubes cumuliformes

2.2.5.5 Las consecuencias de lo anteriormente descrito son las siguientes reglas de oro:

- a) las condiciones de engelamiento son mucho más frecuentes que la acumulación efectiva de hielo para un avión determinado. No es porque el engelamiento haya sido reportado con anterioridad, que los efectos realmente se producirán;
- b) el incremento de la velocidad decrece la cantidad de hielo acumulado; y
- c) de verificarse una rápida acumulación de hielo, un cambio moderado de altitud es normalmente suficiente para parar o decrecer la acumulación de hielo. Los controladores del ATC deberán aceptar

inmediatamente los requerimientos del PIC.

### 2.2.6 Otros tipos de contaminación:

2.2.6.1 En tierra, los aviones estacionados al aire libre reciben todo tipo de contaminación de los que no se desharán automáticamente; tal contaminación puede presentarse en forma de: escarcha, condensación, llovizna engelante, lluvia engelante, aguanieve, nieve mojada o seca. Sería inútil enumerar las diferencias entre esos casos. A menudo, los planos están cubiertos con mezclas de distintos contaminantes. Esto tiene dos causas:

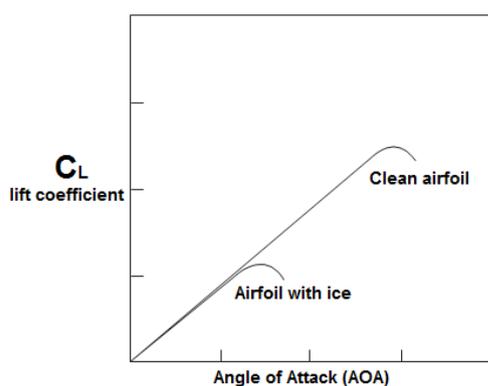
- las características térmicas de las alas varían, debido a la posible presencia de combustible frío y su estructura asociada a compuestos de metales; y
- la evolución normal meteorológica significa precipitación, la cual varía con el devenir de las horas, debido a cambios en temperatura. La nieve a menudo esconde hielo, etc.

2.2.6.1.1 En todos los casos, las alas deben limpiarse antes del despegue, sin importar la clase de contaminación. Para completar el cuadro, las operaciones de despegue, aterrizaje y rodaje implican la proyección o salpicadura de grandes cantidades de nieve mojada o aguanieve que se congelará luego del impacto sobre otras áreas de la estructura, por ejemplo, flaps, slats y tren de aterrizaje.

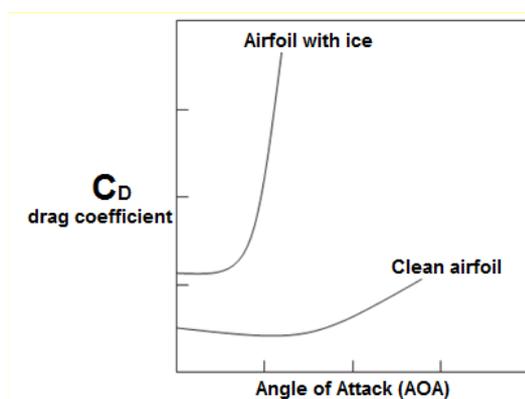
### 2.3 Certificación de la protección antihielo

2.3.1 Aerodinámica elemental: Los diseñadores de aeronaves hacen lo mejor que pueden para asegurar que las estructuras tengan superficies suaves para facilitar la circulación del flujo de aire que las rodean. Esta regla es aplicada con especial cuidado a los bordes de ataque y a la superficie superior de las alas, porque la suavidad de estas áreas produce la mejor fuerza de sustentación. Cualquier tipo de acumulación de hielo es un obstáculo que frenará el flujo del aire en su recorrido hacia el borde de fuga e introducirá turbulencia. Eso degradará el coeficiente de sustentación del ala y reducirá el máximo ángulo de ataque. El mecanismo por el que se afecta la sustentación tiene que ver con la evolución de la capa límite a lo largo de la cuerda del ala.

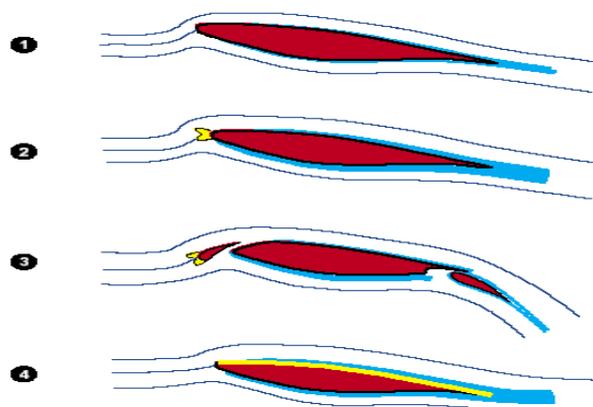
**Coeficiente de sustentación vs ángulo de ataque**



**Coeficiente de resistencia vs ángulo de ataque**



Una reducción del 30% del coeficiente de sustentación no es algo fuera de lo común. La resistencia tiende a aumentar constantemente a medida que se acumula el hielo. Un aumento de la resistencia aerodinámica del 100 % no es inusual y, para acumulaciones de hielo de cuerno grande, el aumento puede ser del 200 % o incluso más.

**Comparación del impacto de la acumulación de hielo**

Este juego de esbozos da una explicación comparativa del impacto de la acumulación de hielo y de cómo estas condiciones de vuelo son certificadas.

- Esbozo # 1: es una referencia: ala limpia con una capa límite normal;
- Esbozo # 2: es un ala engelante en configuración cero. La acumulación de hielo en el borde de ataque es mayor que a escala. La aeronave está certificada en esas condiciones porque, aún cuando la capa límite es más densa, la circulación aerodinámica alrededor del perfil aún no está severamente afectada. La sustentación no está altamente afectada, únicamente la separación del flujo; por lo tanto, la pérdida de sustentación ocurre a un ángulo de ataque ligeramente más bajo. Las velocidades operacionales mínimas del avión toman en cuenta la pérdida de sustentación máxima;
- Esbozo # 3: muestra la misma ala en condiciones de aterrizaje. A pesar de la contaminación de las aletas del borde de ataque de un perfil, la apertura del borde de ataque del ala (slot) del slat restaura el flujo normal de la capa límite. De nuevo, la circulación alrededor del ala no está severamente afectada y la aeronave está certificada para aterrizar en tales condiciones; y
- Esbozo # 4: muestra el resultado de la escarcha matutina después de una pernocta en condiciones de cielo claro. Hasta una capa muy fina de hielo aterciopelado destruirá la capa límite de toda la parte superior del ala. La pérdida de sustentación puede ser grande e impredecible. Esta es la razón por la que estas condiciones no son certificadas.

2.3.1.1 La capa límite es más densa y más turbulenta a lo largo de la cuerda aerodinámica del ala y, por lo tanto, la separación del flujo ocurrirá a un ángulo de ataque más bajo. La velocidad de pérdida será incrementada.

2.3.1.2 Como no es posible tomar en cuenta toda la variedad de formas de hielo, los fabricantes han definido procedimientos basados en las peores formas de hielo posibles, según han sido probadas en vuelo con formas de hielo artificiales. Como consecuencia, en el caso de condiciones de engelamiento, las velocidades mínimas han sido definidas manteniendo márgenes adecuados en términos de maniobrabilidad relativos a la pérdida real con acumulación de contaminantes. Por ejemplo, cuando se aterriza en configuración de flaps totalmente abajo con figuras que simulan hielo, la velocidad debe ser de  $V_{ref} + 5kts$ . Sin embargo, para algunos sistemas automáticos el sistema de protección " $\alpha$ " (alpha) ha sido ajustado con formas artificiales de hielo. Esto significa que el avión permanece protegido en caso de acumulación de hielo. En cambio, esto significa también que hay un margen incrementado relativo a la pérdida en el estatus normal de ala limpia.

2.3.1.3 En el caso de engelamiento en tierra, se puede llegar a un mismo resultado porque la capa límite se

volverá más densa y más turbulenta a lo largo de la cuerda. Una separación más temprana del flujo ocurrirá, resultando en un ángulo máximo de ataque más bajo y un  $C_L$  máximo menor. Como un ángulo de ataque relativamente alto se alcanza normalmente durante la rotación del despegue, es fácil entender que las alas deben ser limpiadas antes del despegue.

2.3.1.4 Hasta una fina capa de escarcha aterciopelada debe ser limpiada. La densidad puede ser muy pequeña, pero cubre el 100% del extradós y el engrosamiento de la capa límite a lo largo de la cuerda del ala puede ser considerable. Esto es una amenaza para el despegue, ya que nada le indica al PIC que no podría disponer de la sustentación requerida para un despegue seguro. La cola del avión, el estabilizador horizontal y el timón de profundidad, también deben estar libres de depósitos de hielo antes del despegue para otorgar la esperada eficiencia en la rotación.

### 2.3.2 Historia de la certificación de la protección contra el hielo

2.3.2.1 Para un mejor entendimiento del estatus actual dentro de la certificación de los sistemas de protección contra el hielo, es necesario esbozar una visión histórica de cómo fue desarrollada una norma aplicable.

2.3.2.2 El engelamiento se volvió un problema desde el comienzo del transporte aéreo. También fue de la incumbencia de los bombarderos durante la Segunda Guerra Mundial. Para entonces, ya había datos estadísticos sobre acumulación de hielo y las características de las nubes engelantes. Esta excepcional pieza de trabajo dio nacimiento a una base de datos que aún tiene validez. Dada la variedad de formas de hielo encontradas para la época, ya estaba claro que sería imposible requerir vuelos de prueba de todos los casos y certificarlos individualmente. La idea de definir los peores escenarios había nacido junto con una metodología para alcanzar condiciones equivalentes.

2.3.2.3 El resultado fue el conocido Apéndice C de la Parte 25 del Título 14 del CFR de los Estados Unidos, que define las condiciones de engelamiento a las que debe ser sometida una aeronave antes de su certificación. Dos tipos de tasas de acumulación de hielo son requeridos: uno es el máximo continuo, aplicable a nubes estratiformes, y otro el máximo intermitente para nubes cumuliformes. El rango diametral de las gotas era considerado de  $50\mu\text{m}$ . Esa norma y su material interpretativo implícitamente admitía la variedad de formas de hielo y requería que las aeronaves demostrarán que podían sostener tres pulgadas de acumulación (en áreas no protegidas). Estas tres pulgadas son una cantidad significativa, derivadas de 45 minutos de exposición. Se suponía que eran aceptables en el peor caso. Las condiciones de vuelo que permiten determinar la localización de la acumulación de hielo en el borde de ataque de un perfil, también han sido escogidas como las peores, ya que está lo más cercano posible a la superficie superior del ala de lo que las condiciones normales de vuelo permitirían. Queda claro que tal concepto penaliza los aviones pequeños más que a los aviones grandes. Sin embargo, los registros de accidentes recientes demuestran que han sido insuficientemente protectores para los aviones de clase "commuter", y hasta super protectores con aviones grandes a turbinas.

### 2.3.3 Certificación de sistemas de protección antihielo de aviones turboreactores grandes

2.3.3.1 Tal como quedó establecido anteriormente, los aviones a turboreactores grandes son menos susceptibles de tener problemas de engelamiento que los más pequeños. Aún cuando las causas no están lo suficientemente demostradas, los siguientes hechos pueden ser descritos:

- a) Velocidades en vuelo más altas: Este es un factor muy importante, no solamente por el calentamiento adiabático debido al efecto de compresibilidad, que corta el riesgo de engelamiento a todas las OAT  $> -10^\circ\text{C}$ . La física atmosférica es tal que, por coincidencia, las estadísticas de contenido de agua en las gotas sobre-enfriadas cae dramáticamente entre  $-10$  y  $-15^\circ\text{C}$ . Por lo tanto, el potencial de engelamiento de un avión más rápido está reducido significativamente.
- b) Tres pulgadas de acumulación de hielo son ampliamente aceptadas como resultado de un encuentro de engelamiento severo y se toma como un caso envolvente. Es físicamente obvio que tiene menos

impacto en la performance de aviones grandes que en los más pequeños.

- c) Como se estableció anteriormente, el mecanismo por el cual el hielo deteriora la performance del ala, sigue su curso a través del deterioro de la capa límite. La mayoría de los aviones grandes tienen aletas del borde de ataque con una apertura fija cerca del borde de ataque del ala (ranuras).
- d) En una condición dada de engelamiento, un borde de ataque de radio más grande recogerá menos hielo que uno más pequeño.
- e) Los aviones grandes generalmente tienen sistemas de deshielo térmicos.

2.3.3.2 La ejecución de una prueba de certificación de antihielo en ambiente natural es dificultosa. Encontrar tres pulgadas de hielo, un número significativo de veces, en la atmósfera real y sin tomar en cuenta la estación de año, es un reto imposible. Aún más, después de acumular tal cantidad de hielo, para el momento que el piloto sale de las nubes y ejecuta las maniobras de certificación, la mayor parte del hielo se habrá desprendido por los efectos combinados del bataneo (buffet) durante la ejecución de pérdidas de sustentación, la erosión, evaporación y sublimación.

2.3.3.3 Estos vuelos de pruebas en condiciones naturales de engelamiento todavía se hacen, sólo para demostrar la eficiencia de los sistemas de antihielo, incluyendo casos de fallas. Esto es necesario, pues ninguna espuma plástica adosada a los bordes de ataque podrá reproducir el intenso proceso termodinámico que se desarrolla entre el hielo y la célula del avión.

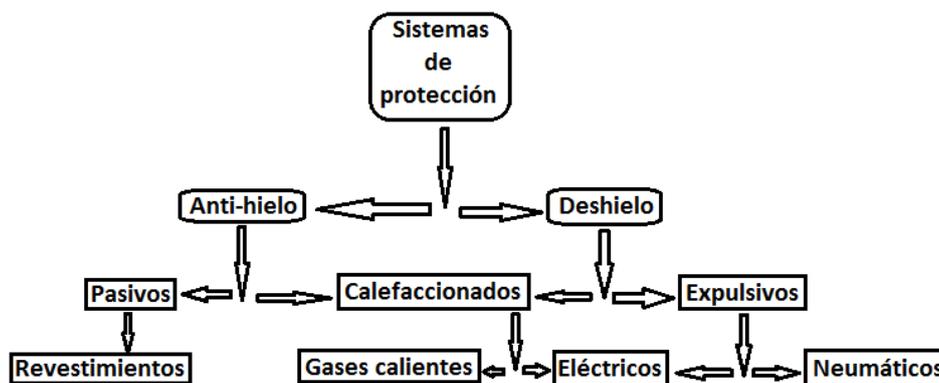
2.3.3.4 Como el método de certificación es sobreprotector con aviones turboreactores grandes, algunas observaciones razonables deben hacerse. Una es muy importante y a menudo desconocida por pilotos: las aeronaves no están certificadas para largos períodos de engelamiento en configuraciones con flaps y slats extendidos. Las reglas de certificación han probado ser más adecuadas para aviones con turboreactores grandes, ya que no se tienen estadísticas de accidentes o incidentes de importancia debido al engelamiento en vuelo. Sin embargo, esto no se puede interpretar como una total protección contra engelamiento ilimitado.

2.3.3.5 Hay en el mercado muchas aeronaves, especialmente las pequeñas, que tienen sistemas instalados pero que no están debidamente certificados; simplemente están allí sobre la base de que no perjudican la performance y pueden proveer una protección mínima mientras el piloto ejecuta las maniobras requeridas para abandonar el área. Es sumamente importante verificar en el manual de vuelo en qué condiciones fue instalado. Suele suceder que fueron agregados como extras con la compra, pero su incorporación no significa que estén certificados.

2.4 Protección contra el engelamiento en vuelo

2.4.1 Medios de protección contra el hielo: Desde el punto de vista del objetivo final tenemos dos tipos:

Los antihielos y los de deshielo. Véase el siguiente gráfico:



Existen cuatro métodos principales para la protección de la célula de aviones contra la acumulación de hielo, a saber:

- a) los de protección con aire caliente de sangrado
- b) los de calentamiento eléctrico
- c) los mecánicos,
- d) los de ala húmeda, sistemas químicos (TKS) no incluidos en el gráfico.

Todos utilizados para el deshielo y antihielo de las superficies críticas de la aeronave.

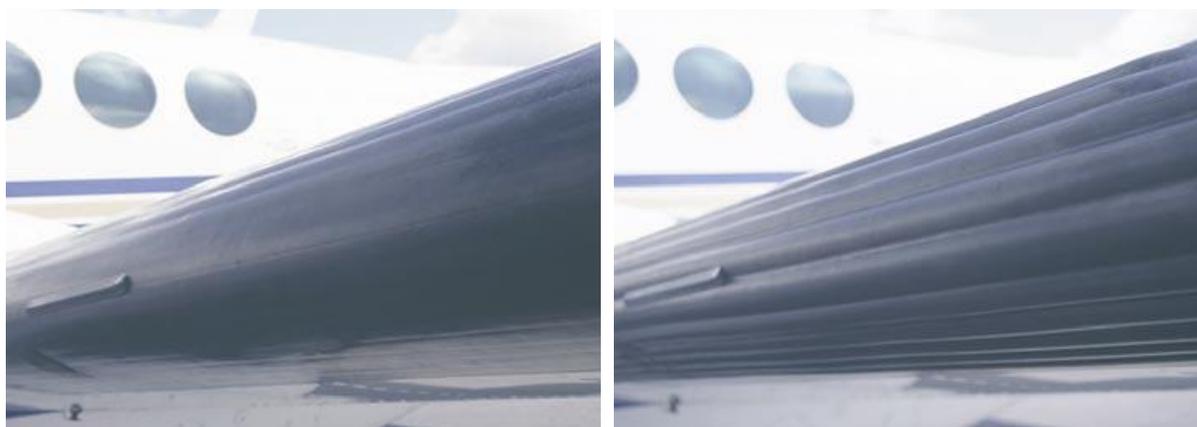
2.4.1.1 Aire sangrado: Es usualmente empleado en aviones propulsados por turborreactores grandes. Estos sistemas se les conoce en la industria como antihielo, ya que trabajan en forma continua y generalmente se los activa antes de que se produzca acumulación de hielo. Las superficies así calentadas prevén la acumulación de hielo. También pueden utilizarse para remover acumulaciones ligeras de hielo. Sin embargo, como la cantidad de energía necesaria para evaporar la acumulación de hielo es muy alta, los sistemas de protección de aire de sangrado (caliente) no pueden considerarse como muy efectivos a la hora del deshielo. Casi todos los aviones grandes utilizan los sistemas de protección para las alas y las tomas de aire de los motores.

- a) Bordes de ataque de las alas: Los aviones grandes de transporte son significativamente más resistentes al hielo que los aviones más pequeños. Esto se debe al tamaño y grosor de sus alas. Alas grandes acumulan menos hielo que las delgadas. Por esa razón se consideró innecesario deshelar la totalidad del ala. Las partes en las que se aplica, son calentadas hasta la evaporación del contaminante: funden el hielo acumulado y evaporan el agua remanente; luego, la parte calentada del borde de ataque permanece limpia bajo condiciones de engelamiento. Para operaciones de rodaje, el sistema se inhibe para evitar que la alta temperatura dañe los slats (aletas del borde de ataque) por sobre calentamiento;
- b) Empenaje: se notará que son dispositivos para el antihielo, pero no para el deshielo. Esto se debe que se ha logrado probar que tiene gran margen relativo a la máxima eficiencia aerodinámica necesaria. La máxima eficiencia del empenaje es necesaria para maniobra con CG hacia adelante y la máxima eficacia del timón direccional se requiere durante operaciones con un solo motor. Se ha demostrado que ambas estructuras (de profundidad y de dirección) cumplen con los requerimientos de certificación en las pruebas con hielo sintético; y
- c) Bordes de ataque de las tomas del motor: Están desheladas más cuidadosamente, porque los álabes de la primera etapa del compresor, especialmente en motores turbofan de alta derivación de flujo (high by-pass ratio) deberían ser las partes más protegidas por daños causados al motor por trozos de hielo. El aire caliente procedente del compresor del motor calienta el borde de ataque de la nacela. En vista de las características especiales de las tomas de aire para los motores, los procedimientos estándar privilegian su uso por sobre el sistema de alas. En ciertas condiciones del vuelo, la temperatura puede descender varios grados dentro de la toma, por efecto de la succión de la masa de aire. Por lo tanto, puede ocurrir engelamiento en las nacelas a temperaturas exteriores ligeramente por encima de 0°C, mientras que en las alas no. El NAI no tiene nunca dispositivos de inhibición, porque el aire es forzado a toda velocidad por la succión del motor.

2.4.2 Calentamiento eléctrico: Es típicamente usado cuando se encuentran pequeñas cantidades de hielo en superficies como las tomas de aire de motores turbohélices. En este método se utilizan los llamados circuitos eléctricos de calentamiento permanente, cubiertos por una goma especial, adosados a las hélices, tomas estáticas, tubos pitot, sondas de TAT y sondas de ángulo de ataque (AoA) También para las ventanas del compartimiento de vuelo y los mástiles de drenaje de aguas servidas. Para estos ítems, al igual que los bordes de ataque de las alas, también existe el problema del sobrecalentamiento; de manera que esto se

resuelve automáticamente por un circuito de lógica aire/tierra. Con relación a las aeronaves turbohélicas, se calientan las partes internas de las palas de las hélices, es decir, las más cercanas al cubo. El calor es transmitido hacia las puntas de las palas por medio de un recubrimiento metálico.

2.4.3 **Botas de deshielo mecánicas:** Son típicamente usadas en las aeronaves turbohélicas o reactores pequeños. Las botas son tubos de goma instalados en los bordes de ataque de las alas. Tan pronto el hielo se acumula, las botas son infladas por aire a presión. El cambio en su forma produce el quiebre y el desprendimiento del hielo. Los sistemas de deshielo de botas mecánicas son sistemas diseñados para remover el hielo ya acumulado. Se creía que la activación temprana de las botas podía tan solo empujar hacia afuera el poco hielo formado sin que se desprenda por completo, dejando un espacio entre el borde de ataque y el hielo mismo. Este problema fue solucionado con la instalación de tubos de menor diámetro, es decir que el "ice bridging", tal como se lo conocía, dejó de ser un problema.



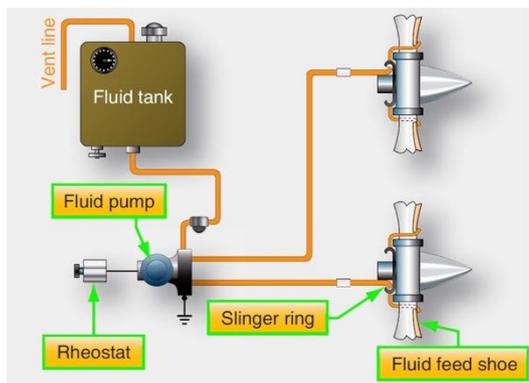
Bota desinflada adherida al perfil

Bota desheladora inflada

2.4.4 **Sistema de "ala húmeda":** Este método se basa en la reducción del punto de congelamiento por medios químicos. El agente es bombeado a través de los paneles en los bordes de ataque de las superficies a proteger (bordes de ataque de las alas y cola). Esa solución se mezcla con las gotas sobre-enfriadas y le baja la temperatura de congelación permitiendo que fluya sin adherirse ni congelarse. Fue empleado durante la WWII (TKS) porque era compatible con los bordes de ataque blindados de aquellas aeronaves. Con el tiempo, el sistema original fue mejorado con la provisión de bordes de ataque perforados con mucha precisión por medio del láser. Los primeros en la aviación ejecutiva que lo usaron fueron el HS-125 y el Cessna Citation S/II; con la introducción en los Beech Bonanza se abrió la puerta al mercado de la aviación general. Si bien, en líneas generales, se diseñó como anti-hielo, también puede ser usado como deshelador. Cuando se ha formado ya el hielo, la aplicación del fluido derretirá químicamente la capa que está en contacto con la superficie del borde de ataque y las fuerzas aerodinámicas lo desprenderán y luego se producirá la transición a anti-hielo. Ese mismo fluido, mientras escurre hacia el borde de fuga no permitirá que se forme hielo por detrás de la zona normal de protección (runback ice).



2.4.5 Deshelador de hélices: Las hélices, en determinadas condiciones, también juntan hielo y, como consecuencia de ello, pierden su eficiencia propulsiva. Después de todo, es un perfil cuya forma original está siendo alterada por una capa de hielo. El primer sistema que funcionó más o menos adecuadamente fue el “slinger ring”, un anillo tubular ajustado alrededor del cubo de la hélice a través del cual el rociado de una solución anticongelante se extiende por la fuerza centrífuga sobre las palas de la hélice para evitar la formación de hielo.



2.4.6 Procedimientos para vuelos en condiciones de engelamiento: En el AFM y el AOM se establecen las condiciones en las cuales es posible el engelamiento, tanto en tierra como en vuelo. Tienen en cuenta la temperatura (OAT en tierra y TAT en vuelo) y las condiciones de humedad visible en vuelo (como de nubes, niebla y baja visibilidad de una milla o menos, lluvia, nieve, aguanieve y cristales de hielo) o en tierra: agua estancada, nieve, aguanieve o hielo, presentes en calles de rodaje o pistas. Estos son límites conservadores definidos por las AAC de certificación de las aeronaves para guiar a los pilotos en la selección de sistemas de antihielo sin necesariamente garantizar que encontrarán condiciones de engelamiento.

- a) Sistema NAI: Debe ser inmediatamente activado cuando se encuentren las condiciones esbozadas en el párrafo anterior. Este procedimiento previene la acumulación de hielo en las tomas de aire de las turbinas, protegiendo así los álabes del fan (de la primera etapa del compresor de baja) de daños provocados por la ingesta de trozos de hielo. Cuando la TAT está por debajo de  $-40^{\circ}\text{C}$  el NAI debe estar activado cuando el avión penetre nubes o cuando un dispositivo o sistema de detección de hielo esté instalado y activado.
- b) Sistema WAI: La activación de estos sistemas depende del tipo instalado. En el AFM y en el AOM se encuentra descrito su uso; en general, cuando exista una indicación de acumulación de hielo en las alas del avión. La activación del WAI puede accionarse para prevenir la formación de hielo o para removerlo en el caso de que se haya acumulado en los bordes de ataque de las alas. No siempre la acumulación de hielo en la estructura del avión es visible a los pilotos. A veces, puede evidenciarse con la acumulación de hielo en los parabrisas o en el pin detector de hielo (ayuda visual), localizado entre ambos parabrisas. Si el sistema de detección de hielo muestra una alerta, el WAI debe ser activado; y
- c) El AFM recomienda evitar el vuelo extendido en condiciones de engelamiento con los flaps y slats extendidos, ya que el hielo acumulado puede bloquear la retracción de los dispositivos de hipersustentación debido a que pueden causar daño mecánico al sistema de flaps y slats. Si el piloto sospecha que se está acumulando hielo sobre las superficies protegidas (WAI inoperativo), o si esa sospecha se extiende hacia las partes no protegidas de las alas, la velocidad más baja elegible (VLS) deberá ser incrementada, como se especifica en el AFM/AOM. En todos los casos, la decisión de activar o desactivar los sistemas de NAI y de las alas es responsabilidad de la tripulación de vuelo, basados en el criterio del AOM.

2.4.7 Detección del hielo

2.4.7.1 Generalidades: La definición de condiciones de engelamiento como humedad visible y menos de 10 °C TAT ha probado ser más bien conservadora. Cuando las condiciones de engelamiento están presentes, no significa necesariamente que el hielo se acumule en la aeronave. También, hay situaciones en las cuales las condiciones de engelamiento son difíciles de identificar, por ejemplo: en vuelo durante la noche. Los primeros “detectores” de hielo se basaron en la observación directa de ciertas partes de la aeronave en las cuales aparecía primero o era más visible que en otras. En lo que respecta a la formación de hielo en las hélices, esa “detección” se producía por las vibraciones que se transmitían al fuselaje. Se hizo necesario desarrollar tecnologías para la identificación de la acumulación de hielo sobre la estructura del avión y/o la presencia de condiciones engelantes. Generalmente estas tecnologías:

- a) disminuyen la carga de trabajo de la tripulación;
- b) incrementan la seguridad en las operaciones de tierra y de vuelo; y
- c) permiten el ahorro de combustible.

2.4.7.2 El siguiente párrafo muestra un breve bosquejo sobre los principios de detección de hielo, que son los más comúnmente usados en servicio:

- a) Datos visuales: El piloto ha sido provisto de datos visuales (específicos y no específicos) para descifrar las condiciones de engelamiento que serán encontradas. La siguiente información puede ser extraída de estos datos:
  - 1) comienzo de la acumulación de hielo;
  - 2) tipo de engelamiento encontrado;
  - 3) viscosidad del hielo;
  - 4) velocidad de acumulación; y
  - 5) fin de la acumulación, si se establece un deshielo periódico.
- b) Uso potencial:
  - 1) para determinar las condiciones engelantes, de manera de aplicar los procedimientos del AFM/AOM (para activar los diversos sistemas de protección contra el hielo);
  - 2) último elemento para asegurar estar libre de hielo, indicando el fin de los procedimientos específicos de antihielo, de haber alguno; y
  - 3) detectar las condiciones particulares de engelamiento (gotas grandes sobre-enfriadas o engelamiento en tierra).
- c) Detección de condiciones de engelamiento: Con el detector se intenta ubicar condiciones de engelamiento en vuelo y proveer indicaciones a la tripulación o actuar automáticamente el sistema cuando la aeronave se encuentre volando en condiciones de engelamiento y se acumule en mayor grado. Los siguientes son los tipos más comunes de detectores “intrusivos” (prominentes): existen varios tipos de detectores, dependiendo de sus tecnologías, sus usos y el nivel de confiabilidad e integridad:
  - 1) detector de hielo: está generalmente diseñado para dar una señal cuando el avión está operando en condiciones de hielo;
  - 2) sistema de aviso: el detector envía una señal lo suficientemente confiable para detectar las condiciones de engelamiento;
  - 3) sistema primario: su señal primaria avisa al PIC. Es muy confiable como para ser la fuente primaria de detección;

- 4) sistema automático; activa o desactiva automáticamente el sistema de protección, de acuerdo al estatus de condiciones de engelamiento que detecta;
- 5) sistema no empotrado (no prominente); detecta el flujo aerodinámico, al ser salpicado por gotas de agua. Detecta la formación de hielo basándose en sus partes sensitivas y destaca las características de las condiciones del engelamiento; y
- 6) sistema empotrado (no intrusivo): está montado al ras de la superficie aerodinámica y detecta y analiza las características atmosféricas a distancia.

c) Detección de acumulación de hielo:

- 1) Los detectores han sido construidos para indicar cualquier tipo de hielo que se forme sobre el borde ataque de las alas, en las tomas de aire y sobre la superficie superior del plano. Estarán operativos para el deshielo durante las operaciones de vuelo o en tierra, para proveer clara indicación de la presencia de contaminantes y al mismo tiempo actuar automáticamente cuando la acumulación de hielo sobrepase ciertos límites preestablecidos. Estos detectores son generalmente “empotrados” o sea, que no alteran el flujo aerodinámico. Están integrados y detectan la formación de hielo sobre las superficies sensibles.

- Sistema de asesoramiento: El detector de hielo envía una señal de aviso al piloto. Éste aún tiene la responsabilidad de confirmar las condiciones de engelamiento o la presencia de hielo o de otros contaminantes como nieve, aguanieve, etc., y tomar las acciones apropiadas, según señala el AFM/AOM. No existen objetivos de seguridad vinculados a este sistema de detección;
- Sistema primario: El detector envía una señal confiable para ser usada como alerta primaria para el piloto. Las consecuencias de una falla no detectada del sistema de protección deben ser establecidas para diseñar una nueva arquitectura del sistema;
- Sistema automático: Este sistema activa o desactiva la protección contra el hielo. Su estatus (detección o no detección, sistema de protección activado o no activado y fallas) se proporciona a la tripulación para su información;

*Nota 1: Un sistema de detección de hielo primario puede ser de actuación manual (por la tripulación de vuelo) o de actuación automática por los sistemas de protección contra el hielo.*

- Detector de protuberancia (intrusivo): El detector sobresale por sobre la superficie y se asoma al flujo aerodinámico. El detector o sus partes sensibles es afectado por las gotas de agua. Estos generalmente detectan la formación del hielo o miden las características de las condiciones de hielo; y
- Detector no protuberante: Está montado al ras con la superficie aerodinámica. detecta la formación o depósitos de hielo sobre sus partes sensitivas, o hace un análisis de las características de la atmósfera a distancia. Los sistemas de detección asisten al piloto durante operaciones en condiciones de hielo.

- d) Sistema primario de detección de hielo: La mayor diferencia entre un sistema primario de detección de hielo y el sistema dual de asesoramiento y detección es que el “sistema primario” reemplaza el procedimiento del AFM/AOM tanto para el detector de indicación (sistema manual) como para el sistema automático de activación. Esto se logra mediante un sistema redundante y un equipamiento de la más alta integridad.

2.5 ¿Qué hacer en vuelo?: Siempre tenga en mente lo siguiente:

- 2.5.1 La física atmosférica y la meteorología nos dicen que las condiciones de engelamiento se producen generalmente desde una temperatura ligeramente positiva hasta unos – 40 °C y más probablemente

alrededor de los 10000 ft. No obstante, debe entenderse que si bien el engelamiento severo raramente ocurre por debajo de  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ , las OAT ligeramente positivas no protegen contra al engelamiento y que las condiciones de engelamiento pueden ser potencialmente encontradas a cualquier nivel de vuelo.

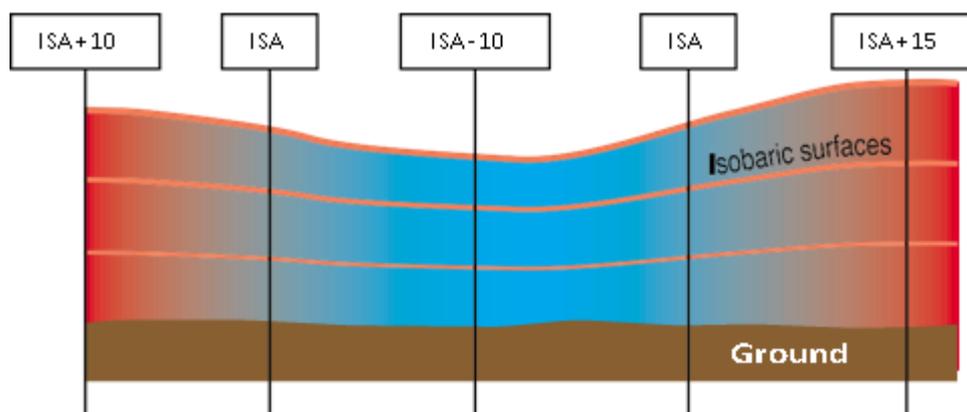
2.5.2 Las condiciones de engelamiento son bastante más frecuentes que la acumulación efectiva de hielo. Las condiciones de engelamiento no conducen necesariamente a una acumulación de hielo.

2.5.3 Si el piloto encuentra condiciones de formación de hielo en vuelo, las recomendaciones serán:

- a) además de utilizar NAI y WAI, en concordancia con los procedimientos, el PIC deberá vigilar el proceso de engelamiento: acumulación de hielo y tipos de nubes;
- b) cuando la tasa de engelamiento sea rápida, de encontrarse en nubes estratiformes, un cambio moderado de altitud reducirá rápidamente la relación de engelamiento. Es obligación del ATC aceptar los cambios de altitud solicitados;
- c) en la sección Limitaciones del AFM, AOM o POH están descriptas las condiciones de engelamientos aceptables para esa aeronave. Debe tenerse presente que cuando ésta es severa, el procedimiento más seguro es abandonar el área lo antes posible.
- d) si las condiciones de hielo y nieve prevalecen en la aproximación, mantenga la velocidad tan alta como sea permitido, demore la extensión de flaps tanto como sea posible y no retraiga los flaps luego de aterrizar;
- e) todo el hielo o nieve acumulados sobre el avión durante los pernoctes o por precipitación durante el aterrizaje y el rodaje, deberá ser totalmente limpiado antes del despegue, sin importar el espesor del contaminante. De otra forma no podrá volver a operarse; y
- f) los sistemas de detección de hielo disponibles en la aeronave se consideran sistemas de advertencia y no reemplazarán los procedimientos establecidos en el AFM.

#### Sección 4 – Efectos de la baja temperatura en la altimetría

1 Efecto de la baja temperatura en la altimetría: Los altímetros de presión (barométricos) instalados en la aeronave están calibrados para indicar la altitud real en condiciones de atmósfera estándar internacional (ISA). Esto significa que el altímetro de presión indica la elevación por encima de la referencia de presión siguiendo el perfil atmosférico estándar. Cualquier desviación de ISA, por lo tanto, dará como resultado una lectura incorrecta, por lo que la altitud indicada difiere de la altitud real.



La temperatura influye en gran medida en el espaciado de la superficie isobárica, lo que afecta las indicaciones del altímetro.

Cuando la temperatura sea inferior a la ISA, la altitud real de la aeronave será inferior a la cifra indicada por el

altímetro.

Específicamente, esto ocurre en condiciones de clima frío, donde la temperatura puede ser considerablemente más baja que la temperatura de la atmósfera estándar y puede dar lugar a un error significativo de altímetro.

Una temperatura baja puede disminuir el despeje del terreno y puede crear un peligro potencial de despeje del terreno. También puede ser el origen de un error de altitud/posición.

Por lo expuesto,

- a) Será necesario aplicar correcciones de altura sobre la elevación de la fuente del ajuste altimétrico:
  - 1) incrementando la altura de los obstáculos; y
  - 2) decreciendo la altitud/altura indicada de la aeronave.
- b) Se deberá establecer y especificar una OAT mínima para el uso de procedimientos de aproximación y despegue para aproximaciones en VNAV; y
- c) Cuando la OAT sea menor que la temperatura mínima indicada, en una carta de despegue, la altura/altitud mínima de aceleración deberá ser incrementada.

2. Los errores del altímetro pueden ser apreciables, especialmente donde existan terrenos elevados y/u obstáculos cerca de los aeropuertos en combinación con temperaturas muy frías (-30 °C o más frías). En ruta y/o los niveles de vuelo donde la separación del terreno es un factor, se debe considerar también corregir las altitudes mínimas. Los explotadores deben incluir en su MOE los procedimientos para realizar las correcciones pertinentes. Estos suelen estar en el FCOM (Procedimiento Suplementario de Correcciones de Altitud por Bajas Temperaturas).

### 3. Correcciones a las altitudes

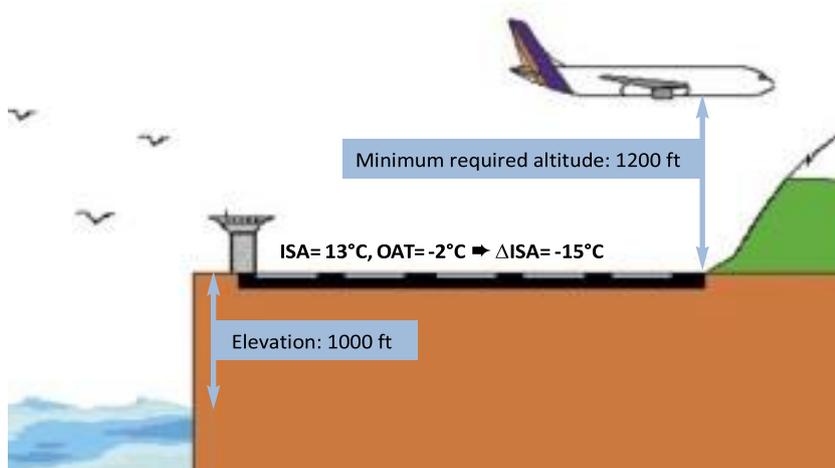
Hay varios métodos disponibles para corregir la altitud indicada, cuando la temperatura es inferior a ISA. En todos los casos, la corrección debe aplicarse sobre la altura por encima de la elevación de la fuente de reglaje del altímetro. La fuente de ajuste del altímetro es generalmente la presión atmosférica en un aeropuerto, y la corrección de la altura sobre el aeropuerto debe aplicarse a la altitud indicada. Se aplica el mismo valor de corrección cuando se vuela en QFE o en QNH.

La elección de un método depende de la cantidad de precisión necesaria para la corrección.

#### 3.1 Correcciones de temperatura a baja altitud

- Corrección aproximada:
  - aumentar la elevación del obstáculo en un 4 % por cada 10 °C por debajo de la ISA de la altura por encima de la elevación de la fuente de ajuste del altímetro, o,
  - disminuir la altitud indicada por la aeronave en un 4% por cada 10 °C por debajo de la ISA de la altura por encima de la elevación de la fuente de ajuste del altímetro.

Este método se utiliza generalmente para ajustar las altitudes mínimas de seguridad y se puede aplicar a todos los altímetros cuyas temperaturas son superiores a -15 °C.



Ejemplo: Supongamos que la elevación del aeropuerto es de 1000 pies. La elevación del aeropuerto es la misma que la elevación de la fuente de ajuste del altímetro = 1000 pies.

La temperatura ISA a 1000 pies es de 13°C.

Supongamos ahora que la temperatura real del aire exterior (OAT) es de -2 °C. La desviación de ISA es entonces,  $\Delta ISA = (13^\circ C) - (-2^\circ C) = -15^\circ C$ .

Se supone que la altitud real mínima requerida para salvar el obstáculo es de 1200 pies.

Para tener en cuenta la desviación ISA, la elevación del terreno/obstáculo debe incrementarse en:  $1200 \times 0,04 \times 15/10 = 72$  pies

En otras palabras, el altímetro debe indicar 1272 pies para tener una altura real de 1200 pies.

- Correcciones tabuladas

La OACI publica las siguientes tablas en el manual «Procedimientos de Vuelo PANS-OPS». Se basan en una elevación del aeropuerto de 2000 pies; sin embargo, pueden utilizarse operativamente en cualquiera.

Aerodrome temp °C	Height above the elevation of the altimeter setting source (ft)													
	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500	2000	3000	4000	5000
0°C	0	20	20	20	20	40	40	40	40	60	80	140	180	220
-10°C	20	20	40	40	40	60	80	80	80	120	160	260	340	420
-20°C	20	40	40	60	80	80	100	120	120	180	240	380	500	620
-30°C	40	60	80	100	120	130	150	170	190	280	380	570	760	950
-40°C	40	60	80	100	120	140	160	180	200	300	400	620	820	1020
-50°C	40	80	100	120	140	180	200	220	240	360	480	740	980	1220

Resolviendo el ejemplo anterior con este método:

- Ingrese a la tabla con 1200 pies. Para evitar una interpolación, use 1500 pies.
- Entrar en la mesa con -2°C. Para evitar una interpolación, utilice -10°C.

- Lea que la corrección en la indicación del altímetro debe ser de 120 ft.

**Fórmula Corrección de baja altitud:**

$$\Delta Z = [(QNH \text{ alt} - Z_t) * \Delta T] / [288.15 - (QNH \text{ alt} * L / 2)]$$

$\Delta T$  = diferencia entre la temperatura del aeropuerto y la temperatura ISA del aeropuerto ( $\Delta \text{ISA}^\circ\text{C}$ ).

$Z_t$  = altitud del aeropuerto.

QNH alt = altitud indicada del avión sobre el nivel medio del mar (AMSL).

L = gradiente de temperatura: 0.0065°C/m or 0.00198°C/ft (en función de la unidad elegida para  $Z_t$  y QNH alt).

QNH ALTITUDE MINUS TERRAIN ELEVATION (ft) ➔		$\Delta Z$ CORRECTION (ft)					
		500	1000	1500	2000	2500	3000
$\Delta \text{ISA}$	-10 °C	-17	-34	-51	-68	-85	-102
	-20 °C	-35	-70	-105	-140	-175	-210
	-30 °C	-52	-104	-156	-208	-260	-312
	-40 °C	-70	-140	-210	-280	-350	-420
TRUE ALTITUDE = QNH ALTITUDE + $\Delta Z$							
Note: A constant $\Delta \text{ISA}$ from ground to airplane level has been assumed							

Resolviendo el ejemplo anterior con esta tabla:

- Ingresar a la tabla con 1200 pies. Para evitar una interpolación, usar 1500 pies.
- Entrar en la tabla con  $\Delta \text{ISA} = -15^\circ\text{C}$ . Para evitar una interpolación, utilizar  $-20^\circ\text{C}$ .
- Leer que la corrección en la indicación del altímetro debe ser de 105 ft.

3.1.1 Aplicación de correcciones a baja altitud.

Las correcciones sobre una altitud indicada deben aplicarse sobre la altitud mínima publicada, excepto cuando los criterios utilizados para determinar las altitudes mínimas de vuelo ya estén publicados y tengan en cuenta las influencias de las bajas temperaturas (Mencionado en AIP).

En la aproximación, se deben aumentar al menos las siguientes altitudes publicadas en condiciones de baja OAT:

- MSA,
- FAF altitud,
- Altitud(es) escalonadas y MDA(H) durante una aproximación que no es de precisión,

- Altitud sobre la OM durante una aproximación ILS,
- Altitudes de cruce de waypoints durante una aproximación GPS volada con navegación vertical.

Como no está permitido modificar las restricciones de altitud de una aproximación que no es de precisión, se debe establecer una OAT mínima para volar la aproximación con el modo FMGC «FINAL APPR» (o el equivalente según el equipamiento instalado).

MALVINAS ARGENTINAS (SAWH) Carta de aproximación por Instrumentos					RNP Y RWY 25	
USHUAIA					Instrument approach chart	
ATIS <b>127.80</b>	USHUAIA CTL <b>123.85</b>	USHUAIA APP <b>118.10 122.10</b>	USHUAIA TWR <b>118.10 122.10</b>	EMERG <b>121.50</b>		
<b>RNP</b>	FINAL APCH CRS <b>259°</b>	ALTITUD MNM TOBTO <b>1200'</b> (1131')	LNAV/VNAV 5.5% DA(H) <b>489'</b> (420')	AD Elev <b>96'</b> THR Elev <b>69'</b>	12° E (2019)	
<p>Aproximación frustrada: ASC sobre curso 260° hasta WH792, virar a la izquierda sobre curso 070° hasta WH292, continuar hasta WH488, virar a la derecha DCT a VOR USU ascendiendo para 8000 ft, HLDG y seguir instrucciones del ATC.</p> <p>Missed approach: Climb on course 260° to WH792, turn left on course 070° to WH292, continue until WH488, turn right DCT to USU VOR, climb to 8000 ft, HLDG and proceed as directed by ATC.</p>						
<p>NOTA: Para sistemas Baro VNAV no compensados, debajo de -20°C o superior a 23°C N.A. Aproximación final desplazada 6° respecto al eje de RWY debido a obstáculos.</p>			<p>NOTE: For uncompensated Baro VNAV systems N.A. below -20°C or above 23°C. Final approach offset 6° from RWY centerline due to obstacles.</p>			

Debe establecerse y especificarse una OAT mínima para utilizar los procedimientos de aproximación y despegue si se pretende utilizar el modo FINAL APPR (V-NAV en la aproximación).

Cuando la OAT está por debajo de la temperatura mínima indicada en una tabla de despegue, se debe aumentar la altura/altitud mínima de aceleración.

Para OAT inferior a este mínimo, se debe utilizar la navegación vertical seleccionada.

NOTA: La determinación de los niveles de vuelo utilizables más bajos por parte de las unidades de Control de Tránsito Aéreo dentro del espacio aéreo controlado no exime al piloto al mando de la responsabilidad de garantizar la adecuada separación con el terreno, excepto cuando un vuelo IFR esté siendo vectoreado por radar.

### 3.2 Correcciones de temperatura a gran altitud (en ruta)

En teoría, esta corrección se aplica a la columna de aire entre el suelo y la aeronave. Cuando se vuela sobre zonas montañosas, el uso de esta corrección da un margen conservador. Se debe tener especial cuidado, en caso de falla de despresurización o falla del motor, para evitar volar más cerca de los obstáculos. Para realizarla puede emplearse la siguiente fórmula o, si está provisto en los manuales de la aeronave, el gráfico pertinente.

Fórmula:  $IA = TA \times T^{\circ}std / T^{\circ}$

IA = Altitud Indicada

TA = Altitud verdadera

T°std = Temperatura estándar (°K)

T° = Temperatura real (°K)

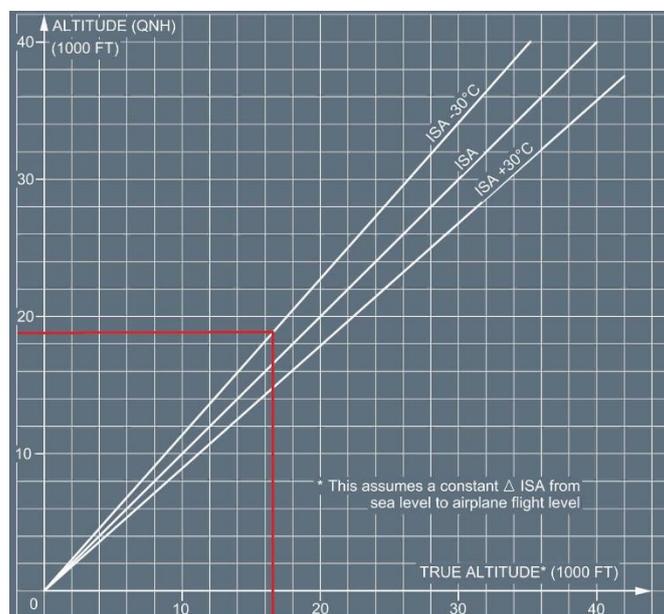
Ejemplo: Supongamos que la altitud real es de 16500 pies y la temperatura real es de -48 °C.

La T°std a 16500 ft = -18°C = 255°K

T°: temperatura real a 16500ft = -48°C = 225°K (ISA -30°C)

Entonces, IA = 16500 x 255/225 = 18700 ft

El siguiente gráfico (FCOM del A320) se basa en la fórmula mencionada anteriormente.



Esta fórmula no tiene en cuenta la elevación de la fuente de ajuste del altímetro. Tiene que ser usada en ruta y no debe ser usada para los ajustes a baja altitud.

### 3.3 Márgenes en el despegue

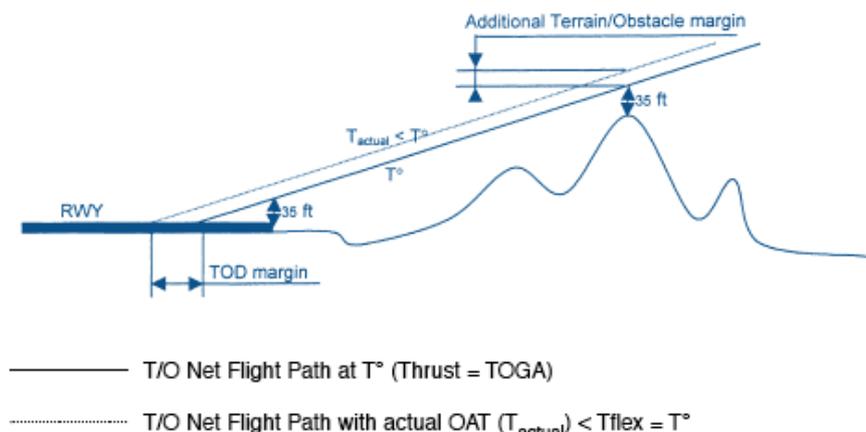
Cuando la temperatura es muy baja, la diferencia entre la temperatura OAT y la temperatura flexible (asumida) puede ser muy grande. En este caso, es válido hacer la siguiente pregunta:

«¿Todavía se pueden utilizar los datos de las tablas de despegue? ¿y todavía hay un margen suficiente entre el terreno/los obstáculos y la trayectoria de vuelo de despegue?»

La respuesta es sí:

- Para una temperatura asumida determinada, la OAT real no afecta el empuje del motor. Por lo tanto, la pendiente de ascenso no se modifica.
- Para la misma IAS, la velocidad respecto al suelo es menor cuando el OAT es menor y, en consecuencia:
- Se aumentan los márgenes con las limitaciones de velocidad de los neumáticos y energía de frenado;
- y
- La distancia de aceleración-parada y la de despegue EI TOD y el ASD están disminuidas.

Esto significa que una reducción en la velocidad respecto al suelo permite un mayor margen sobre el terreno/obstáculo o un tiempo de decisión más largo que el definido por las reglamentaciones.



### Sección 5 – Engelamiento del combustible

- La temperatura del combustible cambia en relación con la temperatura total del aire. Por ejemplo, el funcionamiento prolongado a grandes altitudes de crucero tiende a reducir la temperatura del combustible. En algunos casos, puede acercarse al límite mínimo de temperatura del combustible.
- El punto de congelación del combustible no debe confundirse con la formación de hielo en el combustible causada por partículas de agua congelada. El punto de congelación del combustible es la temperatura a la que aparece la formación de cristales de cera en el combustible. La especificación del combustible Jet A limita el punto de congelación a  $-40\text{ }^\circ\text{C}$  como máximo, mientras que el límite del Jet A-1 es de  $-47\text{ }^\circ\text{C}$  como máximo. En la Comunidad de Estados Independientes (CEI), el combustible es TS-1 o RT, que tiene un punto de congelación máximo de  $-50\text{ }^\circ\text{C}$ , que puede ser inferior en algunas regiones geográficas. El punto de congelación del combustible en las distintas escalas puede variar según la región geográfica en la que se lo refina.
- A menos que el explotador mida el punto de congelación real del combustible cargado en la escala de despacho, se debe usar la especificación máxima del punto de congelación. En la mayoría de los aeropuertos, el punto de congelación del combustible medido puede arrojar un punto de congelación más bajo que el punto de congelación máximo especificado. La temperatura de congelación entregada real se puede utilizar si se conoce. Los pilotos deben tener en cuenta que algunos aeropuertos almacenan combustible en la superficie y, en condiciones de temperatura extremadamente baja, es posible que el combustible ya esté cerca de la temperatura mínima permitida antes de cargarlo.
- Para mezclas de combustibles, se debe utilizar el punto de congelación más conservador del combustible a bordo como el punto de congelación de la mezcla de combustible.
- La temperatura mínima del combustible, publicada en la documentación operativa, puede ser más restrictiva que la envolvente ambiental certificada de la aeronave. Incluye dos limitaciones diferentes, ambas relacionadas con el funcionamiento del motor: limitación del punto de congelación del combustible y limitación del sistema de gestión del calor del combustible.
  - Limitación del punto de congelación del combustible
  - Limitación del sistema de gestión del calor del combustible

Esta limitación refleja la capacidad del motor para calentar un flujo de combustible saturado de agua dado hasta tal punto que ninguna acumulación de cristales de hielo pueda obstruir el filtro de combustible. Tal limitación no aparece en la documentación para algunos tipos de motores cuando están fuera del entorno ambiental.

Se debe considerar la más restrictiva de las dos limitaciones anteriores (a y b).

6. La temperatura del combustible debe mantenerse dentro de los límites del AFM/FCOM/POH.
7. Mantener una temperatura mínima del combustible no debe ser una preocupación a menos que la temperatura del combustible se acerque al límite de temperatura mínima. La tasa de enfriamiento del combustible es de aproximadamente 3 °C por hora, con un máximo de 12 °C por hora posible en las condiciones más extremas.
8. En algunas rutas particulares, el congelamiento del combustible puede ser un factor limitante. Cuando se esperan temperaturas muy bajas, el despacho o el plan de vuelo pueden verse afectados y tener implicaciones económicas. Es posible que algunas rutas no puedan ser voladas en condiciones de temperatura severa con cualquier tipo de combustible.

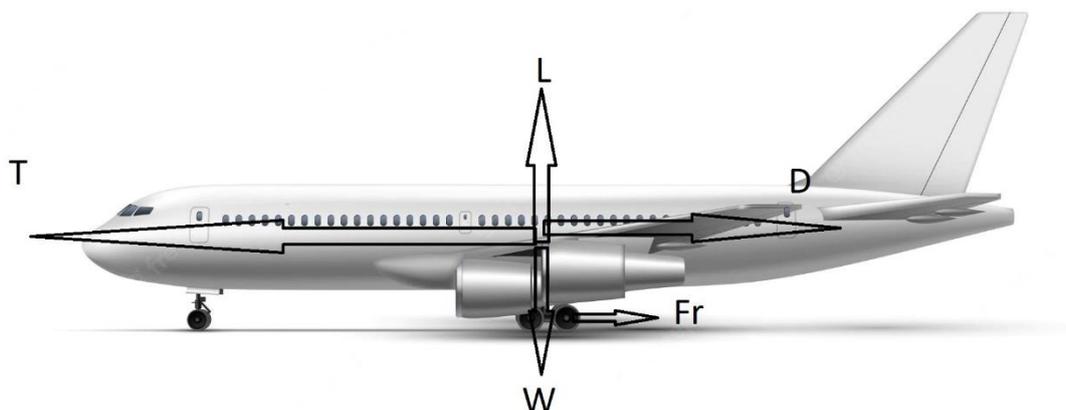
9. Limitaciones al engelamiento del combustible

9.1 La temperatura mínima permitida será limitada por:

- a) el punto de engelamiento del combustible; esto es para prevenir que las líneas de combustible y los filtros se bloqueen por efecto del “combustible encerrado” (variable según el combustible que está siendo usado), o de;
- b) el correcto funcionamiento del sistema de “calentamiento del combustible”, que previene que los cristales de cera contenidos en el combustible bloqueen el filtro de combustible. Esto último ocurre a menudo;
- c) si bien pueden ser usados diferentes tipos de combustible con puntos de engelamiento variables, según sea mencionado en la sección Limitaciones del AFM, cuando se desconoce el punto real de engelamiento del combustible que está siendo usado, la limitación viene dada por los valores mínimos de especificación. La limitación resultante puede ser penalizante bajo ciertas condiciones de temperatura, especialmente cuando se usa combustible JET A (punto de engelamiento máximo de -40°C). En tales casos, el conocimiento del punto de congelación real del combustible usado generalmente provee un gran beneficio operacional, como se desprende de investigaciones ad hoc;
- d) aun cuando la limitación de engelamiento del combustible no debe ser deliberadamente excedida, se asegura que proporciona un margen de seguridad significativo; y
- e) cuando se mezclen combustibles de tipos distintos, los explotadores deberán aplicar el punto de congelamiento más conservador.

### Sección 6 – Performance en pistas contaminadas

1. Para entender cómo la contaminación de la pista afecta la performance de despegue y aterrizaje es necesario revisar cuáles son las fuerzas que actúan sobre la aeronave, primero en una pista seca sin gradiente y sin viento, y luego agregarle los distintos factores de contaminación.



W = Peso

L = Sustentación

T = Empuje o tracción de las hélices

D = Resistencia

Fr= Fuerza de rozamiento

En una primera aproximación, puede suponerse que el peso W es constante a lo largo de la carrera de despegue. La sustentación L se incrementará desde cero, cuando el avión está detenido, y, a medida que la velocidad aumenta, hasta ser igual al peso. A medida que aumenta la velocidad, el empuje T permanecerá casi constante si se trata de un reactor y disminuirá levemente si se trata de un avión a hélice. También aumentará la resistencia D.

La fuerza de rozamiento Fr es el producto del coeficiente de rozamiento  $\mu$  por la fuerza vertical que existe entre el suelo y las ruedas; es decir  $W - L$ . Entonces  $Fr = \mu \cdot (W - L)$

La aceleración del avión en cualquier instante de la carrera de despegue es función de la fuerza neta de aceleración y la masa del avión

$$a = F_n / M$$

$$a = g \left( \frac{F_n}{W} \right)$$

a aceleración (ft/seg<sup>2</sup>)

F<sub>n</sub> = fuerza neta de aceleración

W = peso lbs

g = aceleración de la gravedad (32,17 ft/seg<sup>2</sup>)

M = W/g en slugs

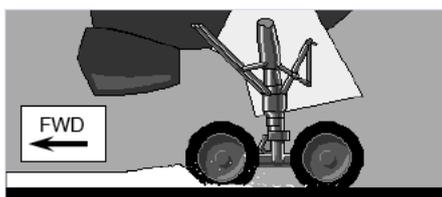
La fuerza neta de aceleración  $F_n$  es el resultado del empuje  $T$ , la resistencia  $D$  y la fuerza de fricción  $Fr$ . Es decir:  $F_n = T - D - Fr$

Haciendo los reemplazos correspondientes, la aceleración en cualquier instante de la corrida de despegue será:

$$a = \frac{g}{w}(T - D - Fr)$$

Si ahora se incorporan los efectos de la resistencia debida a la contaminación y a la producida por el salpicado, en el resultado final de la ecuación de la aceleración se evidencia claramente una disminución producto de esos dos factores.

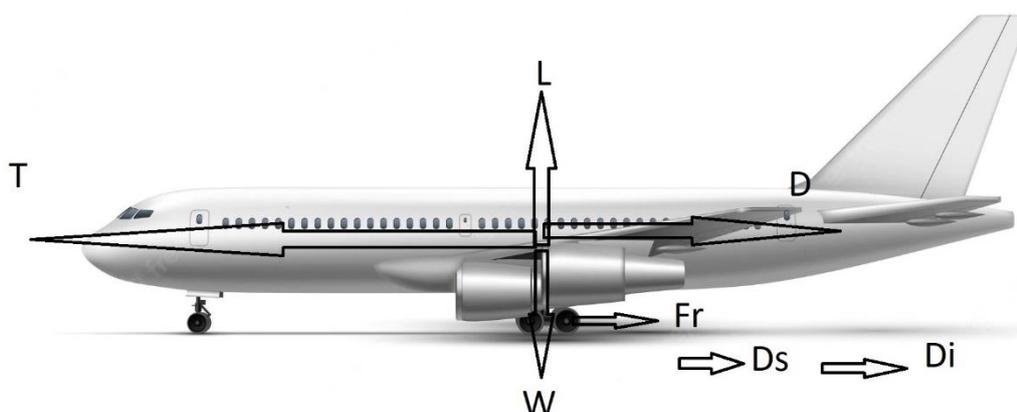
$$a = \frac{g}{w}(T - D - Fr - D_s - D_i)$$



$D_s$  = Por desplazamiento



$D_i$  = Por salpicadura

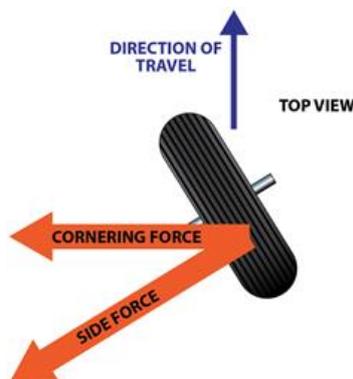


## 2. Cómo afectan la rodadura, el deslizamiento y el derrape a la aeronave

2.1 Interacción aeronave/pista. Las interacciones mecánicas entre la aeronave y las pistas son complejas y dependen del área crítica de contacto entre el neumático y el suelo. Esta pequeña área, de unos 4 m<sup>2</sup> para las aeronaves más grandes actualmente en servicio, está sujeta a fuerzas que afectan las características de rodadura y frenado de la aeronave, así como el control direccional.

2.2 Fuerzas laterales (en curvas). Estas fuerzas permiten el control direccional en tierra a velocidades donde los controles de vuelo tienen una eficacia reducida. Si los contaminantes en la superficie de la pista o calle de rodaje reducen significativamente las características de fricción, se deben tomar precauciones

especiales (p. ej., viento cruzado máximo permisible reducido para despegue y aterrizaje, velocidades de rodaje reducidas) como se indica en los manuales de operaciones.



- a) cuando se gira la rueda, aparece una fuerza de fricción lateral. La fuerza total de fricción entonces es dividida entre la fuerza del frenado (componente opuesto al movimiento de la aeronave) y la fuerza de fricción lateral. La fuerza de fricción lateral máxima para el control direccional se obtiene cuando la fuerza de frenado es nula (NIL), mientras que la aplicación de una fuerza de máximo frenado significa ninguna fuerza de fricción lateral necesaria para realizar un giro;
- b) la compensación entre la fuerza lateral (cornering force) y el frenado, depende de la relación de deslizamiento, es decir, del sistema de anti-derrape (anti-skid); y
- c) la capacidad de giro usualmente no es ningún problema en pistas secas, no obstante, cuando la fuerza total de fricción se reduce significativamente por efecto de la presencia de contaminantes en la pista en condiciones de viento de costado, el piloto puede tener que escoger entre el frenado o el control del avión.

#### 2.2.1 Viento de costado (cruzado):

- a) el fabricante debe demostrar una componente máxima de viento cruzado para pistas secas y mojadas. Este valor no es una limitación. Aquí se analiza la máxima componente de viento demostrada durante el aterrizaje en vuelos de prueba dentro del proceso de certificación de la aeronave. Los explotadores deben tomar esta información de referencia para establecer sus propios límites;
- b) la componente máxima de viento de través para aterrizajes automáticos sí es una limitación; y
- c) el fabricante también provee algunas recomendaciones con relación a la componente máxima de viento de través para pistas contaminadas. Estos valores conservadores han sido establecidos entre cálculos y la experiencia operacional. Los explotadores deben establecer su propia limitación e insertarla en el MOE

2.3 Fuerzas longitudinales. Estas fuerzas, consideradas a lo largo del eje de velocidad de la aeronave (que afectan la aceleración y la desaceleración), se pueden dividir entre fuerzas de fricción de rodadura y de frenado. Cuando la superficie de la pista está cubierta por un contaminante suelto (por ejemplo, aguanieve, nieve o agua estancada), la aeronave está sujeta a fuerzas de resistencias adicionales del contaminante.

2.3.1 Fuerzas de fricción de rodadura: Las fuerzas de fricción de rodadura (rueda sin freno) en una pista seca se deben a la deformación del neumático (dominante) y la fricción de la rueda/eje (menor). Su magnitud representa solo alrededor del 1 al 2 por ciento del peso aparente de la aeronave.

#### 2.4 Fuerzas de frenado: efectos generales

2.4.1 Las fuerzas de frenado son generadas por la fricción entre el neumático y la superficie de la pista cuando se aplica el par de frenado a la rueda. Existe fricción cuando existe una velocidad relativa entre la velocidad de la rueda y la velocidad del neumático al contacto con la superficie de la pista. La relación de

deslizamiento se define como la relación entre las velocidades de rotación de la rueda con y sin freno (deslizamiento cero) en revoluciones por minuto (rpm).

2.4.2 La máxima fuerza de fricción posible depende principalmente del estado de la superficie de la pista, la carga aplicada sobre las ruedas, la velocidad y la presión de los neumáticos. La fuerza de fricción máxima ocurre en la relación de deslizamiento óptima, más allá de la cual la fricción disminuye. La fuerza de frenado máxima depende de la fricción disponible, así como de las características del sistema de frenado, es decir, la capacidad antideslizante y/o la capacidad de torque de frenado.

2.4.3 El coeficiente de fricción,  $\mu$ , es la relación entre la fuerza de fricción y la carga vertical ( $W$ ). En una buena superficie seca, el coeficiente de fricción máximo,  $\mu_{\max}$ , puede superar 0,6, lo que significa que la fuerza de frenado puede representar más del 60 por ciento de la carga sobre la rueda frenada. En una pista seca, la velocidad tiene poca influencia en  $\mu_{\max}$ . Cuando la condición de la pista se ve degradada por contaminantes tales como agua, caucho, aguanieve, nieve o hielo, el  $\mu_{\max}$  puede reducirse drásticamente, lo que afecta la capacidad de la aeronave para desacelerar después del aterrizaje o durante un despegue interrumpido.

2.5 Los efectos generales de las condiciones de la superficie de la pista sobre el coeficiente de fricción de frenado se resumen brevemente en los párrafos siguientes párrafos.

2.5.1 Condición húmeda (hasta 3 mm de agua). El  $\mu_{\max}$  en condiciones húmedas se ve mucho más afectado por la velocidad (disminuyendo cuando aumenta la velocidad) que en condiciones secas. A una velocidad respecto al suelo de 100 nudos, el  $\mu_{\max}$  en una pista mojada con textura estándar estará normalmente entre 0,2 y 0,3; esto es aproximadamente la mitad de lo que uno esperaría obtener a una velocidad baja como 20 nudos.

2.5.2 En una pista mojada, el  $\mu_{\max}$  también depende de la textura de la pista. Una micro textura más alta (rugosidad) mejorará la fricción. Una alta macro textura, PFC o una superficie ranurada agregará beneficios de drenaje; sin embargo, debe tenerse en cuenta que la performance de frenado de la aeronave no será el mismo que en una pista seca. Por el contrario, las pistas pulidas por las operaciones de aeronaves o contaminadas por depósitos de caucho o donde la textura se ve afectada por depósitos de caucho después de operaciones repetidas pueden volverse muy resbaladizas. Por lo tanto, el mantenimiento debe realizarse periódicamente.

2.5.3 Contaminantes sueltos (agua estancada, aguanieve, nieve húmeda o seca de más de 3 mm). Estos contaminantes degradan el  $\mu_{\max}$  a niveles que podrían ser menos de la mitad de los experimentados en una pista mojada. La microtextura tiene poco efecto en estas condiciones. La nieve da como resultado un  $\mu_{\max}$  bastante constante con la velocidad, mientras que el aguanieve y el agua estancada exhiben un efecto significativo de la velocidad en el  $\mu_{\max}$ .

2.5.4 Debido a que tienen un comportamiento fluido, el agua y el aguanieve crean un hidropneumático dinámico a altas velocidades, un fenómeno en el que la presión dinámica del fluido excede la presión de los neumáticos y empuja el fluido entre el neumático y el suelo, evitando efectivamente el contacto físico entre ellos. En estas condiciones, la capacidad de frenado cae drásticamente, acercándose o llegando a cero.



2.5.4.1 El fenómeno es complejo, pero el parámetro disparador de la velocidad de hidropneumático es la presión de los neumáticos. La macrotextura alta (p. ej., un PFC o una superficie ranurada) tiene un efecto positivo al facilitar el drenaje dinámico del área de contacto entre el neumático y la pista. En aviones de pasajeros típicos, se puede esperar que ocurra hidropneumático dinámico en estas condiciones sobre velocidades terrestre de 110 a

130 nudos. Una vez iniciado, el efecto de hidroplaneo dinámico puede seguir siendo un factor hasta velocidades significativamente inferiores a las necesarias para activarlo.

$$V_{hp} = 8.63 \sqrt[2]{\text{presión del neumático}}$$

2.5.5 Contaminantes sólidos (nieve compactada, hielo y caucho). Estos afectan la capacidad de desaceleración de las aeronaves al reducir  $\mu_{\max}$ . No afectan la aceleración.

2.5.6 La nieve compactada puede mostrar características de fricción bastante buenas, tal vez comparables a las de una pista mojada. Sin embargo, cuando la temperatura de la superficie se aproxima o supera los 0°C, la nieve compactada se volverá más resbaladiza, alcanzando potencialmente un  $\mu_{\max}$  muy bajo.

2.5.7 La capacidad de frenado sobre hielo puede variar según la temperatura y la rugosidad de la superficie. En general, el hielo húmedo tiene una fricción muy baja ( $\mu_{\max}$  tan bajo como 0,05) y normalmente evitará las operaciones de la aeronave hasta que el nivel de fricción haya mejorado. Sin embargo, el hielo que no se está derritiendo aún puede permitir operaciones, aunque con una penalización en la performance.

2.5.8 Los contaminantes de la superficie de la pista resultantes de la operación de las aeronaves, pero que generalmente no son considerados como tal para fines de performance de las aeronaves, son depósitos de caucho o residuos de líquidos de deshielo. Estos generalmente están localizados y limitados a partes de la pista, la mayoría de las veces en las cabeceras. En las acciones de mantenimiento de la pista debe monitoreárselos y eliminarlos según sea necesario. Cuando la fricción caiga por debajo del nivel de fricción mínimo requerido, las partes afectadas serán notificadas a través de NOTAM.

## 2.6 Fuerzas de resistencia de los contaminantes

2.6.1 Cuando la pista está cubierta por un contaminante suelto (p. ej., agua estancada, aguanieve, nieve no compactada), existen fuerzas de resistencia adicionales que resultan del desplazamiento o compresión del contaminante por la rueda. Los factores impulsores de estas resistencias de desplazamiento son la velocidad y el peso de la aeronave, el tamaño de los neumáticos y las características de deflexión, y la profundidad y densidad de los contaminantes. Su magnitud puede afectar significativamente la capacidad de aceleración de la aeronave durante el despegue. Por ejemplo, 13 mm de aguanieve generarían una resistencia que representaría aproximadamente el 3 % del peso de la aeronave a 100 kt para una aeronave típica de pasajeros de tamaño mediano.

2.6.2 Un segundo efecto de estos contaminantes desplazables (aguanieve, nieve húmeda y agua estancada) es la resistencia al impacto, por lo que la columna de contaminantes rociados – salpicados – crea una resistencia al impactar contra la estructura de la aeronave. La combinación de la resistencia producto del desplazamiento y la del impacto puede llegar a ser del 8 al 12 % del peso de la aeronave para una aeronave típica de pasajeros de tamaño pequeño o mediano. Esta fuerza puede ser lo suficientemente grande como para que, en caso de falla del motor, la aeronave no pueda continuar acelerando.

2.7 Implicancias en la performance de las aeronaves: Es obvio de la información provista anteriormente que tan pronto como la condición de la pista se desvía del estado ideal seco y limpio, las capacidades de aceleración y desaceleración de la aeronave pueden verse afectadas negativamente con un impacto directo en las distancias de aceleración y parada y en la distancia de despegue requerido, y, obviamente, en la de aterrizaje. La fricción reducida también perjudica el control direccional de la aeronave y, por lo tanto, se reducirá el viento cruzado aceptable durante el despegue y el aterrizaje.

2.7.1 Evaluación cualitativa: Cualitativamente, los impactos en la capacidad máxima de frenado de la aeronave pueden resumirse como sigue:

- a) contaminantes húmedos y sólidos:

- 1) la aceleración y, por lo tanto, la distancia de despegue no se ve afectadas; y
- 2) capacidad de frenado reducida, distancias más largas de aceleración-parada y de aterrizaje.

b) contaminantes sueltos:

- 1) capacidad de aceleración reducida por el desplazamiento y la resistencia al impacto (aguanieve, nieve húmeda y agua estancada) o la fuerza requerida para comprimir el contaminante (nieve seca); y
- 2) capacidad de desaceleración reducida por una menor fricción, hidroplaneo a altas velocidades, parcialmente compensado por el desplazamiento y la resistencia al impacto.

Como resultado:

- a) la distancia de despegue es más larga (peor cuando el contaminante es más profundo);
- b) la distancia de aceleración-parada es más larga (menor cuando el contaminante es más profundo debido al incremento de las resistencias por desplazamiento y salpicadura); y
- c) la distancia de aterrizaje es más larga (menos cuando el contaminante es más profundo debido a una mayor resistencia por desplazamiento y por salpicadura).

2.7.2 Evaluación cuantitativa: Cuantitativamente, los siguientes datos proporcionan el orden de magnitud de los efectos de las condiciones de la pista en la performance real de una aeronave típica de tamaño mediano, siendo la referencia las condiciones secas (los efectos de la distancia de aceleración-parada suponen el aborte del despegue a la misma velocidad V1, y la fase de frenada se calcula con la aplicación máxima del pedal). Cabe mencionar que el impacto en la performance establecida en el marco regulatorio puede ser diferente porque las reglas de cálculo dependen de las condiciones de la pista.

a) Condiciones húmedas (sin reversa):

- 1) la distancia de aceleración despegue no se ve afectada;
- 2) la distancia de aceleración y parada se incrementa aproximadamente entre un 20 y un 30 %. Una pista ranurada o PFC reducirá esta penalización entre un 10 y un 15 % aproximadamente;

*Nota.— El uso del reversor (un motor inoperativo) reducirá este efecto entre un 20% y un 50% según la eficacia de los mismos y las condiciones de la pista.*

- 3) la distancia del frenado en el aterrizaje se incrementa en un 40 a 60 % en una pista lisa y en un 20 % en una pista ranurada o PFC.

*Nota.— El uso de los reversores con todos los motores reducirá este efecto en aproximadamente un 50% según la eficacia de los mismos y las condiciones de la pista.*

b) 13 mm de agua o condiciones cubiertas de aguanieve:

- 1) la distancia de despegue aumenta entre un 10 y un 20 % con todos los motores en funcionamiento debido a la resistencia por desplazamiento y la de impacto;

*Nota.— El efecto sobre la distancia de despegue con un motor inoperativo será significativamente mayor.*

- 2) la distancia de aceleración y parada aumentará entre un 50 y un 100 %, y con el uso de los reversores (un motor inoperativo) ese aumento podrá andar entre el 30 y 70 %; y

- 3) en la fase de aterrizaje el frenado se incrementa entre un 60 a 100 % dependiendo de la profundidad real del agua o aguanieve en la pista. Esto se puede reducir significativamente mediante el uso de los reversores.

## c) Nieve compacta:

- 1) la distancia de aceleración despegue no se ve afectada;
- 2) la distancia de aceleración y parada aumenta entre un 30 y un 60 %, y se reduce entre un 20 y un 30 % con el uso de los reversores (un motor inoperativo); y
- 3) en la fase de aterrizaje el frenado puede aumentar entre un 60 y un 100 %, incluso con el uso de reversores, esto puede significar 1,4 a 1,8 veces la distancia de la pista seca.

## d) Condiciones de hielo que no se derrite:

- 1) el efecto de las condiciones de hielo que no se derrite puede variar considerablemente dependiendo de la lisura de la superficie, si ha sido tratada con arena o agentes de fusión, etc.;
- 2) la distancia de aceleración y despegue no se ve afectada;
- 3) la distancia de aceleración y parada puede variar desde casi tan buena como la nieve compacta hasta un nivel que se aproxima a las condiciones de hielo húmedo;
- 4) en la fase de aterrizaje el frenado puede aumentar en distancias desde los valores indicados para nieve compacta hasta distancias que se aproximan a las condiciones de hielo húmedo indicadas a continuación.

## e) Condiciones de hielo húmedo:

- 1) la distancia de aceleración y despegue no se ve afectada;
- 2) la distancia de aceleración y parada es más del doble, incluso con el uso de los reversores; y
- 3) en la fase de aterrizaje la distancia de frenado puede aumentar en un factor de 4 a 5. Incluso con el uso de empuje inverso, esto puede significar un aumento entre 3 y 4 veces la distancia en una pista seca.

Las condiciones de hielo húmedo corresponden a una acción de frenado informada como “nula”, y las operaciones no deberían llevarse a cabo debido a los impactos en el desempeño discutidos anteriormente y la posibilidad de pérdida del control direccional de la aeronave.

2.8 Componentes del sistema de frenos de la aeronave: La tecnología de los sistemas de frenado de las aeronaves ha evolucionado constantemente durante las últimas décadas para maximizar su eficiencia general, la capacidad de desaceleración, el peso, la durabilidad, la facilidad de mantenimiento, la confiabilidad y el costo por aterrizaje. A continuación, se ofrece una breve reseña de sus principales componentes.

2.8.1 Neumáticos

La principal evolución se ha producido en la estructura del neumático, que ha evolucionado de capas diagonales a radiales de peso reducido y mayor durabilidad. Hoy en día existen neumáticos de tipo diagonal y radial. En términos de fricción, el compromiso durabilidad/fricción de los compuestos de caucho ha alcanzado la madurez, y todos los tipos de neumáticos muestran niveles similares de  $\mu_{max}$  en varios tipos de superficies.

Los surcos circunferenciales contribuyen al drenaje en el área de contacto, lo que reduce los casos de hidroplaneo. Este efecto positivo disminuye con el desgaste de los neumáticos. Los valores máximos de fricción proporcionados para la certificación de distancias de aceleración y parada en pistas mojadas son consistentes con una profundidad mínima de la banda de rodadura de 2 mm en todas las ruedas.

2.8.2 Ruedas

La tecnología de las ruedas ha madurado hace mucho tiempo, con aleaciones de aluminio forjado que garantizan el mejor compromiso entre peso y durabilidad. Las ruedas incluyen fusibles que garantizarán el desinflado seguro de las llantas después de una parada de alta energía antes de que exista la posibilidad de una explosión de la llanta potencialmente peligrosa.

### 2.8.3 Frenos

Los frenos de disco son la norma. Los materiales de los discos han evolucionado del metal (acero o incluso cobre en algunos casos específicos) al carbono. Ambos tipos coexisten, pero el peso ligero, la durabilidad y el costo relativo decreciente del carbono frente al acero tienden a convertirlo en la tecnología dominante para los aviones civiles más grandes.

Mientras que la capacidad máxima de absorción de energía del freno está directamente relacionada por el material y la masa de los discos, el par máximo depende en la cantidad y diámetro de los discos, así como de la presión aplicada sobre los mismos.

La temperatura y la velocidad del freno también afectan este par máximo.

La presión se aplica mediante pistones hidráulicos a través de un plato de presión. Los pistones accionados eléctricamente son una tecnología emergente ya en servicio (B-787).

### 2.8.4 Sistema antideslizante

Los frenos están diseñados para un par máximo que se logra cuando los pistones aplican la máxima presión disponible. Cuando la carga vertical en la rueda es alta en una superficie de buena fricción (por ejemplo, un avión de alto peso en una pista seca), la fuerza de fricción máxima disponible entre el neumático y el suelo normalmente excederá la que se puede obtener con el par máximo. En este caso, la fuerza de frenado estará limitada por el par (por debajo del límite de fricción neumático/pista), con el valor máximo alcanzado cuando se aplica el máximo frenado del pedal.

Cuando la carga en la rueda y/o  $\mu_{\max}$  disminuye, la fuerza de fricción máxima entre el neumático y el suelo puede disminuir a niveles en los que el par resultante estará por debajo de la capacidad de par máximo del freno. En este caso, si se permite la máxima presión a través de los pistones hacia el freno de la rueda, la rueda se bloqueará y las llantas podrían fallar.

Para evitar este fenómeno, se han desarrollado sistemas antideslizantes que controlan la relación rueda-deslizamiento y controlan la presión del pistón para lograr la mejor eficiencia de frenado. Estos sistemas han evolucionado desde diseños primitivos de ON/OFF hasta sistemas de modulación completa que aprovechan las últimas tecnologías de control digital. La eficiencia del sistema antiderrapante es la relación entre la fuerza de frenado promedio alcanzada y la fuerza de frenado máxima teórica obtenida en la relación de deslizamiento óptima (que proporciona  $\mu_{\max}$ ). Esta eficiencia oscila entre 0,3 para los sistemas de ON/OFF y alrededor de 0,9 para los modernos sistemas digitales.

Para la certificación, el funcionamiento del sistema antideslizante debe demostrarse mediante pruebas de vuelo en una pista mojada y lisa, y debe determinarse su eficiencia. Además, los modernos sistemas antideslizantes brindan funciones elaboradas como el frenado automático, manteniendo un nivel de desaceleración preestablecido (si la fricción lo permite), lo que permite reducir el desgaste de los frenos y mejorar la comodidad de los pasajeros.

A velocidades muy bajas (por debajo de 10 kt), debido a los límites de precisión del sensor, el comportamiento antideslizante puede volverse errático y afectar el control direccional. Los últimos sistemas, sin embargo, incluyen un medio para evitar esta anomalía.

Por diseño, los sistemas antideslizantes son efectivos solo si las ruedas patinan, lo que puede no ser el caso cuando ocurre el hidroplaneo dinámico.

#### 2.8.5 Prueba y certificación del sistema de frenos

Debido a su influencia crítica en la seguridad de las aeronaves y el desempeño normativo, los sistemas de frenado están sujetos a un proceso de prueba y certificación exhaustivo antes de entrar en servicio. Deben cumplir con regulaciones estrictas que impulsarán la arquitectura (por ejemplo, redundancias, modos de respaldo en caso de falla), así como también el diseño de los componentes.

La resistencia del freno se prueba mediante pruebas en banco (dinamómetro). La capacidad de energía máxima se prueba tanto en el banco como a través de una prueba real de despegue abortado de una aeronave en, o cerca de, la condición de desgaste máximo. El par máximo se identifica mediante pruebas de vuelo de aeronaves, así como la eficiencia antideslizante después del ajuste fino en pistas secas y mojadas. Estas pruebas también se utilizan para identificar el modelo de rendimiento de la aeronave.

Cabe señalar que no se requieren pruebas específicas en pistas contaminadas con respecto al comportamiento del sistema de frenado o la performance de la aeronave. Los datos correspondientes pueden calcularse sobre la base del modelo certificado en condiciones secas y húmedas, complementados con métodos aceptados para los efectos de la contaminación en la performance que se basan en resultados de pruebas anteriores obtenidos de una variedad de tipos de aeronaves.

#### 2.9 Relación entre las normas de performance de las aeronaves y la pista mojada resbaladiza

Una nueva superficie de pista construida de acuerdo con las Normas y la orientación de la OACI proporciona características de fricción de la superficie que son mejores que las supuestas en los modelos de performance de aeronaves para la fricción en pista mojada. El propósito de esto es permitir el envejecimiento y la contaminación de la superficie de la pista sin un efecto inmediato en su capacidad para proporcionar el rendimiento nominal de frenado del avión cuando está mojada. Sin embargo, si se permite que las características de rozamiento de la superficie de la pista se degraden por debajo de un nivel crítico, la suposición de rozamiento en la pista mojada utilizada en los cálculos de performance del avión puede que ya no proporcione márgenes adecuados. Es fundamental que los explotadores sean informados oportunamente cuando la degradación ha alcanzado un nivel crítico, es decir, la pista no cumple con el nivel mínimo de fricción establecido o acordado por el Estado.

Se ha establecido que es apropiado asumir el coeficiente de frenado neumático-rueda asociado con RWYCC 3 en el cálculo de la performance para una pista que no proporciona el nivel mínimo de fricción especificado por los Estados. Por lo tanto, las condiciones de pista mojada resbaladiza están asociadas con RWYCC 3 en el RCR siempre que dicha superficie de pista se vea afectada por cualquier humedad visible. Al cambiar la suposición del coeficiente de frenado neumático-rueda en el cálculo del rendimiento por el asociado con RWYCC 3, se restablecen los márgenes de rendimiento, pero la capacidad de carga útil puede verse afectada. Mantener y conservar las características de rozamiento de la superficie del pavimento de la pista por encima del nivel de rozamiento mínimo especificado por el Estado garantiza que estén presentes los márgenes apropiados para la actuación del avión en una pista mojada.

### 3. Coeficiente de fricción, dispositivos de medición de fricción y normas de desempeño establecidas o convenidas por el estado

#### 3.1 Coeficiente de fricción

3.1.1 Es un error creer que las características de fricción del área crítica de contacto de la llanta con el suelo, medidas por un coeficiente de fricción, son propiedades que pertenecen a la superficie del pavimento y, por lo

tanto, son parte de sus características inherentes de fricción. Son una respuesta del sistema generada por el sistema dinámico que consiste en:

- a) superficie del pavimento;
- b) neumático;
- c) contaminante; y
- d) atmósfera.

3.1.2 Ha sido un objetivo buscado durante mucho tiempo correlacionar la respuesta del sistema de un dispositivo de medición con la respuesta del sistema de la aeronave cuando se mide en la misma superficie. Se han llevado a cabo un número considerable de actividades de investigación que han aportado nuevos conocimientos sobre los complejos procesos que tienen lugar. No obstante, hasta la fecha, no existe una relación universalmente aceptada entre el coeficiente de fricción medido y la respuesta del sistema de la aeronave, aunque un Estado utiliza la fricción medida por un decelerómetro para ciertos tipos de superficies contaminadas en invierno y la relaciona con las distancias de aterrizaje de la aeronave.

### 3.2 Dispositivos de medición de fricción

#### 3.2.1 Rendimiento y uso de dispositivos de medición de fricción.

Los dispositivos de medición de fricción tienen dos usos distintos en un aeródromo:

- a) principalmente para el mantenimiento del pavimento de la pista: se utiliza como una herramienta para monitorear la tendencia de las características de fricción de la superficie y está relacionada con el nivel mínimo de fricción (solo dispositivos de medición de fricción continua); y
- b) para uso operacional: se utiliza como herramienta para ayudar en la evaluación de la RWYCC cuando hay nieve compactada y hielo en la pista (dispositivos de medición de fricción continua o decelerómetros).

#### 3.2.2 Criterios de desempeño establecidos por el estado para dispositivos de medición de fricción

Ambos tipos de dispositivos, los operativos y los de mantenimiento de las pistas, deben cumplir la norma establecida o acordada por el Estado.

Se requiere que los Estados establezcan o acuerden un estándar de funcionamiento que deben cumplir los dispositivos de medición del rozamiento.

Los explotadores de aeródromos tienen la obligación de garantizar que los dispositivos de medición del rozamiento aceptables cumplan con la norma de desempeño establecida o acordada por el Estado. Se necesitan métodos adecuados de calibración y correlación. Se espera que la repetibilidad y reproducibilidad de los dispositivos de medición de fricción continua cumplan con los criterios de rendimiento basados en la medición en una superficie de prueba.

3.2.3 Todavía no se llegó a un consenso internacional sobre cómo expresar la repetibilidad y la reproducibilidad en el contexto de las mediciones de fricción que se utilizarán para el mantenimiento y la notificación en los aeródromos, aunque se dispone de varios principios de diseño y medición.

Actualmente, no existen procedimientos aceptados a nivel mundial para desarrollar métodos y logística para usar y administrar dispositivos de medición de fricción. Los estados han optado por desarrollar métodos y logística basados en las condiciones locales y las flotas históricas de dispositivos de medición de fricción propias del estado.

Estos dispositivos de medición de la fricción han sido desarrollados de forma más o menos independiente por diferentes fabricantes, y la razón principal por la que sus lecturas no se correlacionan es que cada vehículo mide algo diferente, utilizando ruedas y neumáticos diferentes. Algunos miden  $\mu$ -skid, algunos miden  $\mu$  en una relación de deslizamiento constante, algunos miden  $\mu$  en una relación de deslizamiento variable y algunos miden  $\mu$ -fuerza lateral en ruedas de guiñada, y así sucesivamente. Esta falta de esta deseable correlación entre los dispositivos es el problema principal en cualquier intento de relacionarlos a una escala global común a través de la comparación.

La OACI ha enmendado las Normas asociadas con el uso de dispositivos de medición de fricción.

3.2.4 Para los dispositivos de medición del rozamiento utilizados con fines operacionales, las disposiciones de la OACI ya no se refieren a las bandas de coeficientes de rozamiento que se han asociado con los términos comparativos BUENO, MEDIO A BUENO, MEDIO A POBRE y POBRE. El dispositivo de referencia histórico para esta relación, cuando se estableció en 1959, fue el Tapley-meter.

3.2.5 Para los dispositivos de medición de fricción utilizados con fines de mantenimiento, el enfoque se ha desplazado hacia la medición de la tendencia de las características de fricción de la superficie, el desempeño de los dispositivos de medición de fricción y la capacitación del personal que los opera. En el Adjunto A al Capítulo 1 (Parte II) de los PANS-Aeródromos (Doc. 9981) se proporciona un enfoque más holístico que brinda orientación sobre los métodos utilizados para evaluar las condiciones de la superficie de la pista.

3.2.6 El Doc. 9137, Manual de Servicios de Aeropuertos, Parte 2 Estado de la Superficie de los Pavimentos, Tabla 3-1<sup>1</sup>, no ha sido actualizado y refleja niveles que la OACI ya no considera incondicionalmente válidos ("Objetivo de diseño para nueva superficie" y "Nivel de planificación de mantenimiento"). El dispositivo de medición de fricción de referencia para esta tabla, que data de la década de 1970, es el Mu-meter. Los niveles mínimos de fricción en esta tabla reflejan los niveles históricos para los dispositivos de medición de fricción individuales identificados y no están ajustados según las comparaciones más recientes de estos dispositivos. La repetibilidad, reproducibilidad, confiabilidad y varios modelos de estos dispositivos no se reflejan.

3.2.7 El desempeño de un dispositivo de medición de fricción continua auto-humectante debe cumplir con el estándar establecido o acordado por el Estado. El objetivo es reducir la incertidumbre general relacionada con el proceso de medición de la fricción. Esta puede gestionarse si se controlan los siguientes aspectos:

- a) formación del personal;
- b) medición de incertidumbres; y
- c) estabilidad del dispositivo de medición de fricción.

3.2.8 Estos aspectos no serán tratados aquí ya que no pertenecen al área del inspector de operaciones.

### 3.3 Optimización y determinación de la performance:

---

<sup>1</sup> La tabla 3-1 se deriva de la investigación realizada por los estados, principalmente el Reino Unido y los Estados Unidos. Esta investigación se remonta a la década de 1960, cuando los aviones se incorporaron a la ecuación en la década de 1970. No fue sino hasta la segunda década de los 2000 que se establecieron vínculos con las aeronaves y se asignó al nivel de fricción mínimo un nivel de performance de la aeronave representado por RWYCC 3.

- a) la presencia de contaminantes en la pista incrementa las distancias de aceleración-parada (accelerated stop distance), la distancia de despegue (takeoff distance) y la carrera de despegue (takeoff run) debido a la resistencia de la precipitación. Dependiendo de la distancia de despegue disponible, esto puede resultar en una masa menor de despegue;
- b) para minimizar la pérdida, el ajuste de los flaps y las velocidades de despegue deberían ser optimizadas. Al incrementar la extensión de flaps y slats el resultado es una mejor performance en la pista. Ambas, la distancia de aceleración-parada y la de acelerar e irse al aire resultan reducidas. Una pista corta y contaminada naturalmente requiere un ajuste alto de flaps. No obstante, la presencia de obstáculos en la trayectoria de vuelo de despegue podría requerir un ajuste de flaps más bajo que provea una mejor performance de ascenso. Por lo tanto, deberá determinarse un ajuste de flaps óptimo. Esto se obtiene a menudo “manualmente” en una rápida comparación con las diferentes tablas de pesos de despegue pre-calculadas o por medio de programas de computación;
- c) las velocidades de despegue, a saber, V1, VR y V2 también tienen un impacto significativo en la performance de despegue. Las altas velocidades generan una buena performance de ascenso. El precio a pagar por obtener altas velocidades es una longitud de pista requerida mayor. En consecuencia, la performance en la pista se degrada. De tal manera, una longitud de pista dada que está contaminada requerirá bajas velocidades. Una vez más, la presencia de obstáculos puede limitar la reducción de velocidad y deberá buscarse el balance correcto. Es aquí donde tiene valor la optimización de la velocidad;
- d) el método de “empuje flexible” es utilizado para prolongar la vida de los motores al reducir el empuje a una cantidad necesaria, pero esto no está permitido cuando la pista está contaminada. Los explotadores pueden aprovecharse de la potencia o empuje reducido (derated thrust). La diferencia principal entre empuje flexible y empuje reducido reside en la capacidad del empuje flexible para recuperar el empuje máximo, mientras que al empuje reducido no se le permite recuperar el empuje máximo a bajas velocidades (porque se ve afectada la Vmc); y
- e) aún más, la reducción del empuje hace más fácil controlar el avión en caso de falla de motor (torque menor). En otras palabras, cuando se está usando empuje reducido, la Vmc asociada también se reduce. Esta reducción de Vmc permite una operación a velocidades más bajas (V1, VR y V2) y, en consecuencia, distancias de despegue más cortas. En una situación donde la performance está limitada por la Vmc, reducir el empuje mediante el método de “derate” puede conducir a masas de despegue más altas.

## Sección 7 – El reporte del estado de pista

1. El sistema global de notificación y el formato para evaluar y notificar las condiciones de la superficie de la pista
  - 1.1. La contaminación de las pistas ha sido una constante en los accidentes tanto en el despegue como el aterrizaje. Por ese motivo, la insistencia en limpiar las pistas y en obtener y difundir su estado antes de cualquier operación es de capital importancia.
  - 1.2. El sistema mundial de notificación para evaluar y notificar las condiciones de la superficie de la pista involucra a todas las partes interesadas que participan en la recopilación de datos, la conversión de los datos en información operacional estructurada y la entrega de la información estructurada a los usuarios finales, y a los usuarios finales que utilizan la información estructurada.
  - 1.3. Debe subrayarse la importancia de las definiciones del Anexo de los términos utilizados en las normas y métodos recomendados (SARPS). Estas definiciones no tienen un estatus independiente, sino que son parte

esencial de cada SARP en el que se utiliza un término definido, ya que un cambio en el significado del término afectaría la especificación.

## 2. Descripción

El Formato de notificación global (Global Reporting Format) es una metodología armonizada a nivel mundial para evaluar y notificar las condiciones de la superficie de la pista. Fue desarrollado por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) para ayudar a mitigar el riesgo de salidas de pista. El GRF es aplicable a nivel mundial a partir del 4 de noviembre de 2021 después de retrasarse un año debido a la pandemia de COVID-19.

## 3. Antecedentes

El GRF tiene su origen en el Comité de Reglamentación de la Aviación (ARC) de Evaluación del Desempeño de Despegue y Aterrizaje (TALPA) de la Administración Federal de Aviación de los EE. UU. (FAA) y la iniciativa posterior. El TALPA ARC se formó en diciembre de 2005 luego de una salida de pista fatal en el Aeropuerto Midway de Chicago. Su propósito era hacer recomendaciones para mejorar la seguridad de las operaciones en pistas mojadas o contaminadas tanto para el despegue como para el aterrizaje.

Las principales recomendaciones del ARC fueron:

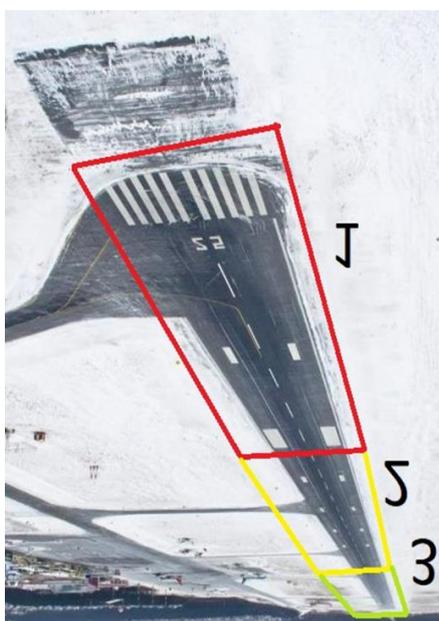
- Utilizar una matriz de evaluación del estado de la pista (RCAM); y
- Asegurar el uso de una terminología común por todas las partes involucradas en el proceso de determinación y notificación de las condiciones de la superficie de la pista y su efecto en la performance del avión.

La OACI comenzó a trabajar en lo que se convirtió en el GRF en 2008 con la formación de un Grupo de trabajo sobre fricción compuesto por 10 estados miembros y siete organizaciones internacionales, y con el apoyo de varios paneles y grupos de expertos.

## 4. Conceptos básicos de GRF

El procedimiento básico de GRF es el siguiente:

- Un observador capacitado divide la longitud de pista en tercios iguales y realiza una evaluación de las condiciones de la superficie



- Utilizando una matriz de evaluación del estado de la pista (RCAM) armonizada mundialmente, asigna un código de estado de la pista (RWYCC) a cada tercio de una pista.
- El código se complementa con una descripción del contaminante de la superficie, incluido el tipo, la profundidad y la cantidad de cobertura, utilizando nuevamente un conjunto armonizado de descriptores.

AD	Fecha y hora (UTC)	RWY	RWYCC	% Cobertura	Prof. de contaminante	Descripción del estado de pista
SAWH	07091200	07	2/3/3	50/25/25	04/03/03	DRY SNOW/SLUSH/WET SNOW
Observaciones en lenguaje claro						Longitud de pista reducida

- Los RWYCC, que varían de 0 para una superficie muy resbaladiza a 6 para una superficie seca, y los descriptores se utilizan luego para completar un informe de estado de la pista (RCR).
- El Informe de estado de pista RCR (Runway Condition Report) es elevado a la Jefatura de aeródromo de la ANAC para su fiscalización.
- el RCR será transmitido por la Jefatura del aeródromo, a la Oficina ARO AIS quién elevará la propuesta de publicación aeronáutica (SNOWTAM) correspondiente, y a su vez, proporcionará a la dependencia ATS del aeródromo la información esencial para que ésta le sea transmitida a la tripulación de vuelo.
- La tripulación de vuelo, durante el briefing de despegue o de aproximación, correlaciona el RCR con los datos de performance de la aeronave, lo que les permite calcular su performance de despegue o aterrizaje.
- También se incluye un mecanismo de retroalimentación para que la tripulación de vuelo proporcione su propia observación de las condiciones de la superficie de la pista, confirmando el RWYCC o alertando sobre cambios en las condiciones. La RWYCC y el RBA quedan relacionados a través de la Matriz de Evaluación del Estado de Pista (RCAM).

Matriz de evaluación del estado de pista (RCAM)			
Explotador del aeródromo		Pilotos	
Criterios de evaluación		Criterios de evaluación para bajar el número de clave	
Clave del estado de pista	Descripción de la superficie de la pista	Desaceleración del avión u observación del control direccional	Informe del piloto sobre la eficacia de frenado en la pista (RBA)
6	<b>SECA</b>		N/A
5	<b>ESCARCHA MOJADA</b> (la superficie de la pista está cubierta por cualquier tipo de humedad visible o agua con un espesor de hasta 3 mm, inclusive) <b>NIEVE FUNDENTE</b> (espesor de hasta 3 mm, inclusive) <b>NIEVE SECA</b> (espesor de hasta 3 mm, inclusive) <b>NIEVE MOJADA</b> (espesor de hasta 3 mm, inclusive)	La desaceleración del frenado es normal para la fuerza de frenado aplicada a las ruedas Y el control direccional es normal	BUENA
4	<b>NIEVE COMPACTA</b> (temperatura del aire exterior de -15° Celsius y menos)	La desaceleración del frenado o el control direccional está entre bueno y mediano	BUENA A MEDIANA
3	<b>MOJADA</b> (pista “mojada y resbaladiza”) <b>NIEVE SECA</b> (espesor de más de 3 mm) <b>NIEVE MOJADA</b> (espesor de más de 3 mm)	La desaceleración del frenado se reduce de manera observable para la fuerza de frenado aplicada a las ruedas o el control direccional se reduce de manera observable	MEDIANA

	<b>NIEVE SECA SOBRE NIEVE COMPACTA</b> (cualquier espesor) <b>NIEVE MOJADA SOBRE NIEVE COMPACTA</b> (cualquier espesor) <b>NIEVE COMPACTA</b> (temperatura del aire exterior superior a -15° Celsius)		
2	<b>AGUA ESTANCADA</b> (espesor de más de 3 mm) <b>NIEVE FUNDENTE</b> (espesor de más de 3 mm)	La desaceleración del frenado o el control direccional es entre mediano y deficiente	MEDIANA A DEFICIENTE
1	<b>HIELO</b>	La desaceleración del frenado se reduce significativamente para la fuerza de frenado aplicada a las ruedas o el control direccional se reduce significativamente	DEFICIENTE
0	<b>HIELO MOJADO</b> <b>AGUA SOBRE NIEVE COMPACTA</b> <b>NIEVE SECA o NIEVE MOJADA SOBRE HIELO</b>	La desaceleración del frenado es entre mínima y no existente para la fuerza de frenado aplicada a las ruedas o el control direccional es incierto	INFERIOR A DEFICIENTE

La metodología GRF pretende cubrir las condiciones que se encuentran en todos los climas y proporcionar un medio para que los operadores de aeródromos evalúen rápida y correctamente las condiciones de la superficie de la pista, ya sea que estén expuestas a condiciones de pista mojada, nieve, aguanieve, hielo o escarcha. Debido a que no todos los aeródromos normalmente experimentan clima invernal severo (como nieve y aguanieve), no todas las RWYCC serán utilizadas por todos los operadores de aeródromos.

Otro cambio fundamental es que las condiciones de pista MOJADA se incluyen en el informe de condición de pista (RCR) de manera regular.

5. Recomendaciones GAPPRE

El Plan de acción mundial para la prevención de salidas de pista (GAPPRE) establece las siguientes recomendaciones relacionadas con los aeródromos pertinentes para la notificación del estado de la superficie de la pista:

- Asegurar que los procedimientos para evaluar las condiciones de la superficie de la pista de acuerdo con el GRF incluyan una evaluación de la superficie tanto reactiva como proactiva para asegurarse de que todos los cambios peligrosos se identifiquen y comuniquen de manera oportuna.
- Asegurar que existan procedimientos sólidos para comunicar información sobre las condiciones cambiantes de la superficie con la mayor frecuencia posible a los servicios apropiados de acuerdo con el GRF. Deben formalizarse las funciones, las responsabilidades de las partes interesadas y los procedimientos de coordinación.
- Los códigos de condición de la pista evaluados deben compararse con los informes de acción de frenado de los pilotos para garantizar la precisión de la información proporcionada a los pilotos.



República Argentina - Poder Ejecutivo Nacional  
AÑO DE LA DEFENSA DE LA VIDA, LA LIBERTAD Y LA PROPIEDAD

**Hoja Adicional de Firmas**  
**Informe gráfico**

**Número:**

**Referencia:** Cap 11 A del Vol II del MIO

---

El documento fue importado por el sistema GEDO con un total de 43 pagina/s.