

Aerotecnia

Formación de hielo en los aviones

Por JUAN BAUTISTA LÓPEZ CAYETANO

Meteorólogo, Capitán asimilado, Jefe del Centro Meteorológico del Pirineo Oriental

I. PELIGROS QUE PUEDE ACARREAR LA FORMACION DE HIELO SOBRE UN AVION

El que los servicios meteorológicos anuncien el peligro de formación de hielo a tal o cual cota y en una u otra zona de las rutas aéreas es para evitar las funestas consecuencias que puede acarrear el no tomar las indicaciones sobre el techo de crucero, zona a evitar, etc. Basta recordar que por dificultades en el mando del avión y en el control del vuelo a ciegas se perdió un trimotor en la Peña de Francia durante el invierno del 36 al 37, y que asimismo durante el invierno de 1938 se perdió por la misma causa un avión de reconocimiento en la ruta de León a Aranda de Duero; este último, a pesar del pronóstico meteorológico de formación peligrosa de hielo, tuvo que efectuarlo, ya que la necesidad del servicio obligaba a intentar lo contra cualquier peligro.

Cuando la formación de hielo es débil puede no ser peligrosa, aunque siempre es molesta, ya que precisamente pueden variar las condiciones de formación en pocos instantes y lo que era una formación sin importancia convertirse en extraordinaria, con graves consecuencias.

Las formaciones débiles de hielo sobre la antena de la emisora de radio pueden dificultar, debilitando o anulando, las comunicaciones (órdenes, marcaciones de rumbo, recepción de meteos, etc.), y si para colmo se vuela sin visibilidad, habremos perdido "la vista artificial" en uno de sus principales nervios de control.

El horizonte giroscópico deja de funcionar cuando más falta hace para el vuelo a ciegas al penetrar en la nube.

Con el aumento de formación decrece la presión absoluta de los motores, y las tomas exteriores de presión, modificadas u obstruidas, pueden dar indicaciones falsas o nulas en los instrumentos del cuadro. Las marcaciones del anemómetro se inutilizan o se falsean, obligándonos a manejar errónea y continuamente los mandos de gases, etc.

Pueden quedar obstaculizadas las transmisiones de los mandos en sus partes exteriores.

Puede quedar bloqueada la salida del tren de aterrizaje en los aparatos de tren retráctil.

Se dificulta o inutiliza el dispositivo de las hélices de paso variable.

La formación de hielo en los bordes de ataque trae consigo una modificación del perfil del ala, con pérdida de sus cualidades aerodinámicas.

Si la formación es sobre el total del ala o sobre todo el aparato, se verifica, aparte de las perturbaciones citadas, un aumento de peso, que puede llegar a ser tan importante que el avión se desplome en pérdida.

La formación en las palas de la hélice presenta el peligro frecuente, y para depósitos de hielo medianamente adherentes, de que por la fuerza centrífuga se desprendan en parte de alguna de las palas, desequilibrando la hélice y originando vibraciones más o menos peligrosas.

Los depósitos en los empenajes de cola dan un aumento de peso de consideración, encabritando, paulatina o bruscamente, el aparato, según la intensidad de formación.

Con la formación de depósitos en el carburador se verifica una pérdida de calor. Habría que calentarlo con los gases de escape, agua de refrigeración del motor (si es que la tiene) o aceite de lubricación.

Con estas ideas basta para darse cuenta del cúmulo de averías y peligros que se ocasionan, tanto en vuelo a ciegas como en vuelo con visibilidad. En este último caso un depósito opaco en el parabrisas de la cabina de mando nos priva del horizonte real, que en algunos tipos de aparatos es el único de que se dispone.

II. ESTUDIO TEORICO DE LAS FORMACIONES DE HIELO

El estado actual de los estudios sobre la formación de los depósitos de hielo, sobre todo ejecutados con normas y programas concretos, han sido publicados en el "Boletín de la Sociedad Meteorológica Americana", en febrero de 1941, por David L. Aremberg y Patrick J. Harney, y como resultado de los estudios llevados a cabo en el Observatorio de Monte Washington desde su fundación en 1932.

El programa desarrollado para resolver el problema de cómo y cuándo tienen lugar estas formaciones de hielo ha sido:

- 1.º Medida del contenido del agua líquida de las nubes o nieblas.
- 2.º Medida de la distribución del tamaño de las gotas.
- 3.º Estructura y propiedades físicas de los diversos tipos de hielo.
- 4.º Dispositivos antihielo.
- 5.º Condiciones meteorológicas necesarias para formaciones de gran importancia.

Para medir el contenido de agua líquida se emplea una varilla de unos 15 cm. de largo por un diámetro de 0,3 cm., que, fijada a un montante giratorio con el viento, recoge los depósitos que se forman sobre la varilla como un cilindro de hielo, independientemente de la dirección del viento y del tiempo de la exposición.

Según Dotson, la "capacidad de captación" de un cilindro cuyo eje es perpendicular a la corriente viene determinada por la expresión siguiente:

$$\lambda = \frac{r^2 V}{4,5 \mu a^3} = \frac{1}{1 + \frac{r^2 V}{4,5 \mu a^3}}$$

en donde

r = radio de la gota.

V = velocidad de la corriente de aire.

μ = viscosidad del aire.

a = diámetro del colector.

La capacidad de captación es, aproximadamente, el 100 por 100 por lo que respecta al tamaño de las gotas, velocidad del viento y diámetro del colector.

Analizada la parte central del hielo, se ha determinado la cantidad de agua líquida en gramos por metro cúbico:

$$L = \frac{4p}{l\lambda(a_1 + a_2)S}$$

- p = peso del depósito.
- l = longitud del hielo formado.
- S = camino del aire (perpendicularmente al colector).
- a_1 = diámetro inicial del colector.
- a_2 = diámetro externo de la capa de hielo.

Para evitar errores en los anemómetros a causa de las formaciones de hielo, se ha empleado para medir la velocidad del viento un tubo de Pitot calentado.

El colector últimamente empleado, según las ideas de Albrecht, ha sido un conjunto de siete colectores cilíndricos de diferentes dimensiones y montados sobre un mismo eje giratorio. La relación entre la superficie del colector más grande y la del más pequeño empleado fué como 1 a 1.000, resultando el hielo depositado sobre el colector más grande de menos densidad y de estructura diferente.

Para medir la densidad del hielo formado se emplea la fórmula

$$D = \frac{4p}{\pi(a_2^2 - a_1^2)l}$$

Se ha estudiado la posibilidad de usar el concepto de Bleeker sobre el "tiempo de congelación", con objeto de poder hacer la previsión de la densidad del hielo.

Se ha comprobado que la mayor parte del calor latente de fusión de la gota sobrefundida se pierde a través del soporte con más facilidad que la pérdida directa en el aire por evaporación o conducción (la conductibilidad de los sólidos es cien veces mayor que la del aire).

Suponiendo que la gota es una esfera achatada mientras se congela sobre la superficie metálica, se ha encontrado la relación existente entre la velocidad de la masa de aire, el contenido del agua líquida, la capacidad de captación y la temperatura ambiente del aire, que viene dada por la expresión siguiente:

$$\Delta = \lambda L V \sqrt{\left[\frac{144 - 0,5(32 - T)}{32 - T} \right] Z},$$

siendo Z la función que expresa la dependencia de Δ exclusivamente por las dimensiones de la gota, y que puede considerarse como constante.

La mayor densidad se consigue cuando la superficie del depósito permanece líquida en su mayor parte.

En cuanto a la relación existente entre la velocidad de formación de hielo y el contenido en agua, añadimos el cuadro calculado teóricamente por I. K. Lacey, que concuerda con las intensidades observadas en la realidad:

INTENSIDADES DE HIELO CALCULADAS

Tamaño de la gota (mm)	Cantidad de agua líquida	
	5 grs. por m ³	0,5 grs. por m ³
0,003	0,079	0
0,006	0,474	0,0395
0,009	0,793	0,079
0,012	0,948	0,079
0,016	1,27	0,158

Los datos que transmite el Observatorio del Monte Washington consisten en la cantidad de agua líquida y la probable densidad de hielo que puede formarse en un avión que navegue a 100 millas por hora, como datos más importantes.

Aunque las formaciones de hielo en España parecen no ser frecuentes, es necesario prepararse para el futuro, cuando el número de aviones en el aire vaya creciendo en todas las épocas del año, para lo cual, además de los sondeos aerológicos con avión que se verifiquen, es preciso una densidad determinada de observatorios de montaña, con el material y personal necesarios para hacer estos estudios, que puedan servir de control permanente sobre el tipo de formaciones de hielo cuando las haya.

De momento, en el Observatorio de altura dependiente del Servicio Meteorológico Nacional (centro del Pirineo), instalado en el Turó del Hombre, de la montaña del Montseny, a 1.713 metros de altura, y dotado actualmente del material de un observatorio completo y de personal técnico y de informadores competentes, es fácil hacer rápidamente una instalación que permita encauzar estudios teóricos que nos sirvan para diagnosticar y pronosticar las formaciones de hielo.

Durante una semana que he pasado en el citado Observatorio he tenido ocasión de observar dos nieblas heladas (días 28 y 29 de diciembre de 1941), que en los montantes de los pararrayos, de los anemómetros y en todos los salientes de la edificación y de los aparatos orientados al NW. dejaron depósitos de hielo del tipo frágil o quebradizo, que luego estudiaremos. La velocidad del viento era de cinco kilómetros hora del NNW.; la duración de la niebla fué de cinco horas, y el espesor máximo de hielo observado, de siete centímetros. Las fotografías muestran el tipo de hielo formado, y fueron tomadas al amanecer del día 29 del XII del 41 en el citado Observatorio (fig. 1).

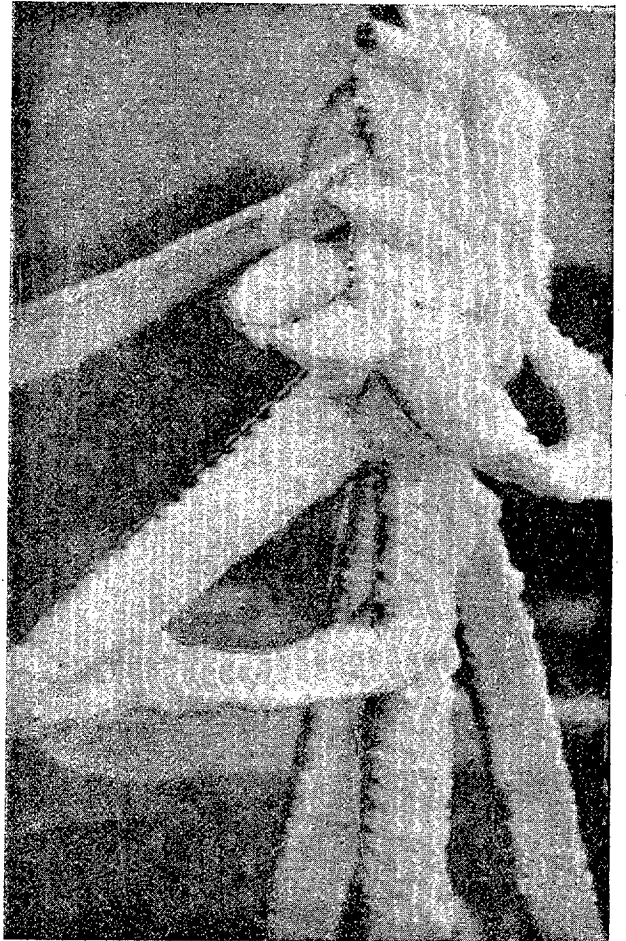


Figura 1.

La situación general en la mañana de ese día es la del mapa que se acompaña en la figura 2, cuya situación es el resultado de la evolución de un anticiclón que días antes tenía su núcleo en el Cantábrico. En toda la zona marcada de niebla, y por encima de los 1.000 metros, las temperaturas oscilaban entre dos y tres grados bajo cero, y el contacto de aquella con las aristas y barlovento de los demás obstáculos determinó la formación de hielo frágil con bastante intensidad.

Casos análogos de niebla helada se pueden recordar en el aerodromo de La Ventosilla, en Aranda de Duero, Burgo de Osma y regiones próximas en los meses de diciembre de 1937 y de enero de 1938. Aunque por el pequeño espesor de aqué-

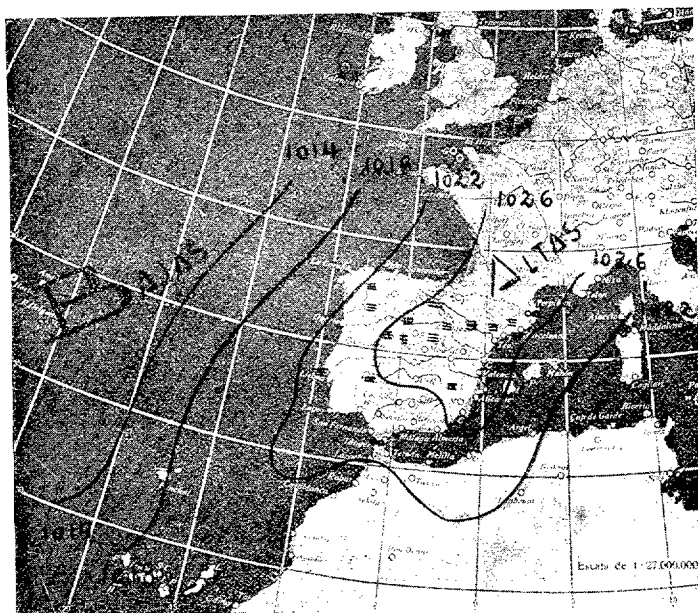


Figura 2.

llas no había peligro al calarlas, ya que desde Burgo de Osma se pudo efectuar el sondeo de avión, impresionaba, sin embargo, de momento, al probar y calentar en el campo los motores, ver la cantidad e intensidad de formación de hielo en las palas de la hélice y bordes de ataque.

III. FISICA DE LA FORMACION DE HIELO

Las nubes pueden contener los estados líquido y sólido del agua. El estado sólido, bajo la forma de cristales planos exagonales, estrellas o agujas exagonales. Por lo general, no son visibles, aunque agrupados pueden crecer hasta más de tres milímetros de diámetro, mientras las agujas pueden alcanzar más de cuatro milímetros.

Alrededor de los 0 grados centígrados es cuando los cristales son mayores, ya que a temperatura más baja es imposible diferenciar si es sólido o líquido el estado en la nube. El "copo" de nieve (temperatura alrededor de 0°) está formado por numerosos cristales de hielo entrecruzados con aspecto más o menos arborescente.

El tamaño de las gotas en el estado líquido oscila desde un núcleo higroscópico (del orden de visión del ultramicroscopio) hasta los cinco milímetros de diámetro, que es el máximo tamaño que permite el rozamiento del aire sin disgregarla como tal gota.

Puede existir agua líquida en una nube muy por debajo de los 0°, y estaremos dentro del estado de agua subfundida. El equilibrio es inestable, bastando un cuerpo extraño, o mejor, un cristalito de hielo como "fermento", para que la mayoría de la masa pase al estado sólido. Cuando este paso se verifica no cristaliza la totalidad de la gota, sino que sólo se congela una parte de la misma, ya que a causa de la solidificación parcial el calor desprendido eleva la temperatura del resto, impidiendo su congelación. Este calor desprendido es tal, que puede elevar la temperatura de la gota en 80° C.; de modo que si la gota está a -80° C., al transformarse totalmente en hielo tendría la temperatura de 0° C. Si la temperatura inicial es de -40° C., al solidificarse la mitad de la gota la temperatura será de 0° C. (ha ganado la mitad de los 80 grados centígrados), y la congelación no puede pasar adelante, pues fundiría el ya formado a causa del calor desprendido. Por tanto, sólo un ochentavo de gota subfundida puede congelarse por cada grado centígrado que esté por debajo del punto de congelación.

Supongamos, para fijar las ideas, un avión volando en una nube cuya temperatura es de -4° C. Una gota que choque con el borde de ataque u otro punto cualquiera pierde el equi-

$$\frac{\text{libro de su estado de sobrefusión y se congela}}{80} = \frac{1}{20}$$

de su masa, quedando los $\frac{19}{20}$ restantes en forma líquida.

Como el avión estará, aproximadamente, a la temperatura ambiente de -4° C., resultará que si la gota no es arrastrada por el filete de aire, pronto se hiela totalmente, quedando adherida al aparato.

Si la gota es muy pequeña, se hiela en el mismo instante del contacto, o sea que cada gota de la nube se transforma en hielo sobre el avión. Estas formaciones podemos llamarlas "frágiles" o "quebradizas", pues queda gran cantidad de aire interpuesto y se desprenden fácilmente de casi todo el avión, conservándose únicamente en el borde de ataque por efecto de la presión del aire, quedando con aspecto blanco y opaco.

Si las gotas son grandes y la temperatura no muy baja, la porción líquida no solidificada se desliza por el perfil del ala, helándose progresivamente sobre ella. Como la formación es a partir de una masa líquida ya situada sobre el ala, este nuevo depósito es transparente, duro y muy adherente. Por la trepidación pueden desprenderse trozos de consideración de suficiente peso para averiar el empenaje de cola en los aparatos no metálicos o producir desequilibrio en el alabeo.

Formación parecida, aunque más pesada y peligrosa, se verifica cuando en lugar de nubes es precipitación en forma de agua líquida sobrefundida, o simplemente lluvia procedente de una masa con temperatura superior a cero grados, cuando la temperatura de las capas inferiores por donde vuela el avión es bastante inferior a los cero grados. El avión mojado por la lluvia y volando en la capa fría recibirá una formación de "hielo-cristal", transparente sobre toda la estructura externa del mismo, aumentando considerablemente su peso: es la llamada "lluvia helada".

Puede presentarse también directamente hielo sobre el avión a partir del vapor de agua de la atmósfera sin que se requiera la penetración en nubes o soporte una precipitación. Esto ocurre de la siguiente manera: Después de permanecer el avión tiempo suficiente dentro de una masa muy fría, de la cual ha tomado su temperatura, penetra rápidamente en una capa caliente y húmeda. La superficie del avión puede estar no sólo por debajo del punto de rocío, sino incluso del de congelación, formándose sobre él hielo blanco semicristalino y no muy peligroso. Las perturbaciones son, sin embargo, importantes en la estación de radio por las variaciones de capacidad en la antena. Téngase en cuenta, sobre todo lo dicho, que tanto el tamaño de las gotas como la cantidad de agua variarían considerablemente dentro de la misma nube, y así ocurre con frecuencia que dos aviones, volando a través de la misma nube, pueden experimentar intensidades de formación helada muy diferente, e incluso que se formen depósitos sobre uno y no sobre otro.

IV. LOS CUATRO TIPOS PRINCIPALES DE FORMACION DE HIELO

Las formaciones de depósitos de hielo pueden reducirse a los cuatro tipos siguientes, según el peligro creciente que pueden ofrecer sobre un avión:

1.º *Hielo sublimado.*—Es equivalente a la "escarcha" en las superficies frías de la tierra. Es blanco, semicristalino y medianamente adherente. Se forma sobre todo el avión. No modifica de manera notable las condiciones de vuelo del aparato, aunque perturba la comunicación de radio y puede ocultar la visión directa por la opacidad del parabrisas al acumularse sobre él. Se forma por paso directo del vapor de agua al estado sólido, sin necesidad de ninguna formación nubosa, y ocurre cuando un avión frío penetra rápidamente en una masa cálida y húmeda inferior.

2.º *Hielo frágil o quebradizo.*—Equivale a la "niebla helada" superficial. Es "blanco" y más opaco que el sublimado. En general es "poco adherente", y se forma principalmente sobre el borde de ataque de las alas, donde su adherencia es mayor por la presión de la corriente de aire. Su formación es principalmente en vuelos dentro de nubes, cuyas gotas son pequeñas y sobrefundidas. La fragilidad de este tipo es peligrosa cuando se forma sobre la punta de las palas, ya que al desprenderse irregularmente de las mismas las desequilibra, originando trepidaciones. Obtura las tomas de carburación, toma del anemómetro, e inutiliza parcialmente el mecanismo de paso variable de la hélice.

3.º *Hielo vítreo.*—Es análogo a las formaciones que en la

superficie de la tierra tienen lugar con carácter intermedio entre niebla helada y lluvia helada. Es "transparente" o "transúcido", con apariencia superficial de vidrio. Es "duro y adherente", formándose y engrosando progresivamente, primero en el borde de ataque de las alas y después sobre todo el perfil de ellas. Su distribución es desigual, lo que obliga a forzar el alabeo; es frecuente el desequilibrio en las hélices y lo mismo en el resto del avión, con peligro de su fractura cuando se desprende desigualmente de él. El aumento de peso es también de consideración. Este depósito ocurre dentro de nubes densas, con partículas grandes de agua líquida, cuya temperatura está aproximadamente por debajo de los 0°.

4.° *Hielo cristal.*—Equivale en la superficie de la tierra a las formaciones producidas por la "lluvia helada". Es "transparente" y "pesado", muy "adherente", y la velocidad de formación grande, aumentando considerablemente la masa inerte del avión y, por tanto, su peso, depositándose sobre toda la superficie superior del avión. Tiene lugar esta formación cuando el vuelo se efectúa dentro de una masa de aire fría y sobre ella cae una lluvia procedente de una capa cálida más alta.

V. METEOROLOGIA DE LAS FORMACIONES DE HIELO

Los elementos principales que hay que tener en cuenta son: Nubes, precipitaciones y temperaturas.

No vamos a extendernos en considerar la formación de los diversos tipos de nubes, aunque más adelante citaremos la importancia de cada uno de aquéllos, el peligro que cada nube encierra, y que los pilotos deben conocer para saber cuáles deben evitarse.

Consideremos un esquema de nube con el aspecto siguiente: La parte superior, con temperatura por debajo de los -17° C., está formada por cristales de hielo; la parte intermedia, donde la temperatura oscila entre -17° C. y 0° C., puede estar formada por cristales de hielo, por gotas de agua sobrefundidas o por ambos estados a la vez; por último, en la parte más baja las temperaturas son superiores a los 0° C., y está formada por gotas de agua.

La precipitación en forma de nieve, aguanieve o agua empieza, por lo general, en la parte media de la nube. Si es nieve, los cristales se entrelazan, forman copos y caen en esta forma, a no ser que la temperatura de la parte inferior consiga fundir parte de ella (aguanieve) o la totalidad (lluvia). La mayoría de las lluvias o lloviznas se forman por este mecanismo.

En la parte superior de la nube no hay peligro de depósitos de hielo, porque los cristales son secos y se desprenden al chocar con el aparato. Las gotas en sobrefusión de la zona media de la nube pueden dar los tipos peligrosos ya citados.

El factor temperatura juega un papel importante. Se formará hielo cuando las gotas choquen con el aparato a temperatura inferior al punto de congelación; esto en cuanto a su papel directo, ya que indirectamente lo determina la cantidad de agua presente. Tal relación obliga que las nubes formadas en aire frío superior sean menos densas que las formadas en el aire caliente de los estratos bajos. Por tanto, la mayor proporción de formación de hielo ha tenido lugar en temperaturas que oscilan entre -2° C. y -8° C., verificándose el máximo entre -3° C. y -5° C., con un porcentaje global del 70 por 100 de los casos.

Los depósitos de hielo cesan prácticamente de su formación a los -18° C.

Los casos de depósito por encima de los 0° C. son escasos, aunque se han observado algunos por efecto del descenso térmico que produce la evaporación de una superficie mojada anteriormente por una precipitación de aguanieve, por ejemplo.

El Teniente coronel Sbernadori ha comprobado prácticamente las cifras de temperaturas dadas por el Comité de Investigaciones Aeronáuticas de América en galerías aerodinámicas, sacando también la consecuencia de que la máxima y más frecuente formación de hielo tiene lugar a -2° C., aunque, como hemos dicho antes, quizá por efecto del número de núcleos higroscópicos presentes en la atmósfera, se dan en la realidad depósitos a las temperaturas anteriormente citadas, y que son inferiores a estas últimas.

Wegner en Groenlandia y los meteorólogos de la expedición Byrd, comprobaron en su viaje a la Pequeña América que existía agua sobrefundida, en suspensión en el aire, a temperaturas de -35° C. De la misma manera el doctor Speranza halló gotas sobrefundidas de agua líquida a -25° C.

La causa reside en que la gota pequeña tiene gran tensión superficial con relación al radio de la misma, bastando la entrada del avión para perturbar el equilibrio inestable y solidificar la gota.

Para los casos más frecuentes de formación, se dan humedades relativas entre 90 y 95 por 100.

Se comprueba también que una velocidad excesiva de cristalización origina escarcha o hielo opaco, mientras que velocidades insuficientes de cristalización son las que dan lugar al hielo transparente.

La época más favorable es la de diciembre-enero-febrero, aunque los primeros fríos de finales de octubre a noviembre dan también lugar a algunos casos de formación.

En cuanto a la altura en que tienen lugar los depósitos de hielo, no puede darse una cota determinada por su variabilidad, ya que depende no solamente de la superficie isoterma de 0° C., sino del contenido en agua o aguanieve y de la trayectoria ascendente o descendente del avión, así como de su temperatura.

VI. DIAGNOSTICO DE LOS DEPOSITOS DE HIELO

El diagnóstico de los depósitos de hielo tiene que hacerlo el meteorólogo valiéndose del sondeo con avión, radio sonda o con las estaciones de montaña, convenientemente repartidas.

Algunos diagramas nos servirán de ejemplo para aclarar los casos más importantes que puedan darse al penetrar nubes, refiriéndonos además a la distribución de temperaturas con la altura, y en todos ellos pondremos en abscisas las temperaturas en grados C., y en ordenadas las alturas en metros, marcando en las cotas correspondientes los tipos de nubes con sus espesores.

En la figura 3 tenemos que la isoterma de cero grados se halla a unos 1.700 metros de altura. En ella hay una capa de

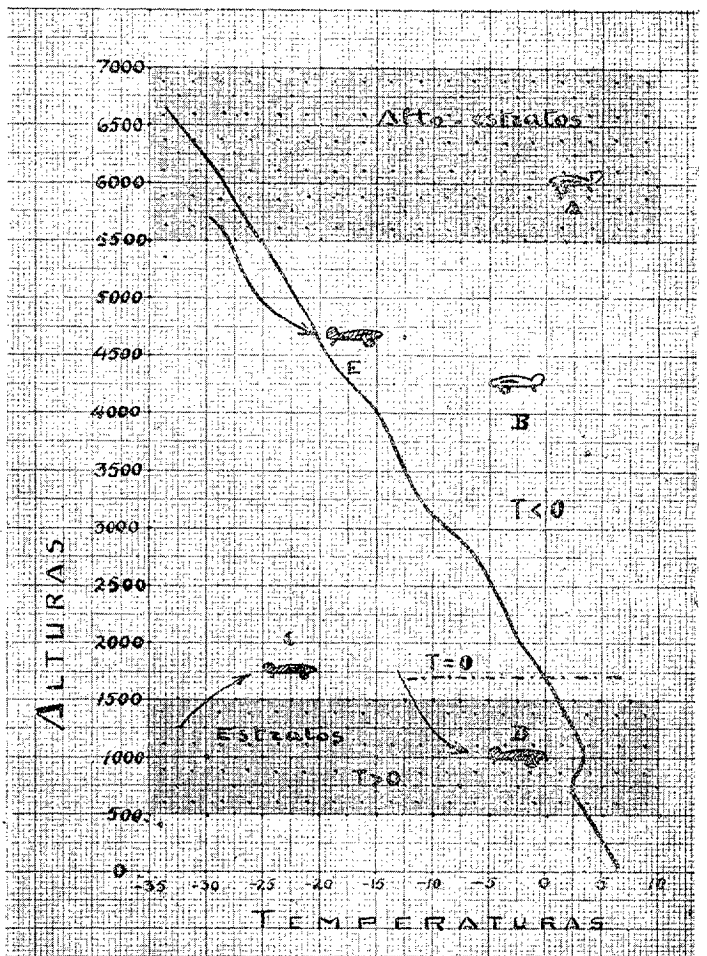


Figura 3.

estratos entre 500 y 1.500 metros, y cuyo contenido es agua líquida, ya que se halla por encima de los cero grados. Hay una zona despejada hasta los 5.500 metros, y desde esta altura hasta los 7.500, una capa de altoestratos que contiene cristales de hielo y agua sobrefundida. El avión A, dentro de la capa de altoestratos, no tiene nada que temer en cuanto a la formación de hielo, ya que la temperatura es muy baja (del orden de 25 grados bajo cero), y mucho menos peligro de formación tiene el avión B, cuyo techo de crucero está alrededor de los 4.500 metros. Un avión que no sobrepase el techo de 1.500 metros puede volar sin peligro de formación de hielo dentro de la capa de estratos. El avión C, que sale más o menos mojado de esta capa de estratos, se cubre de una capa de hielo vítreo de muy escasa importancia. El avión D, que perfora el estrato, puede tener depósito de hielo frágil sobre todo él cuando el descenso desde la capa fría ha sido muy rápido y el aparato no ha tenido tiempo de elevar su temperatura. El avión E puede recibir alguna formación también sin importancia. Por tanto, en todos los vuelos que se hagan análogos al caso de esta figura no hay peligro, ya que el hielo que se forma no tiene la menor importancia.

Veamos el caso de la figura 4, en donde la isoterma de

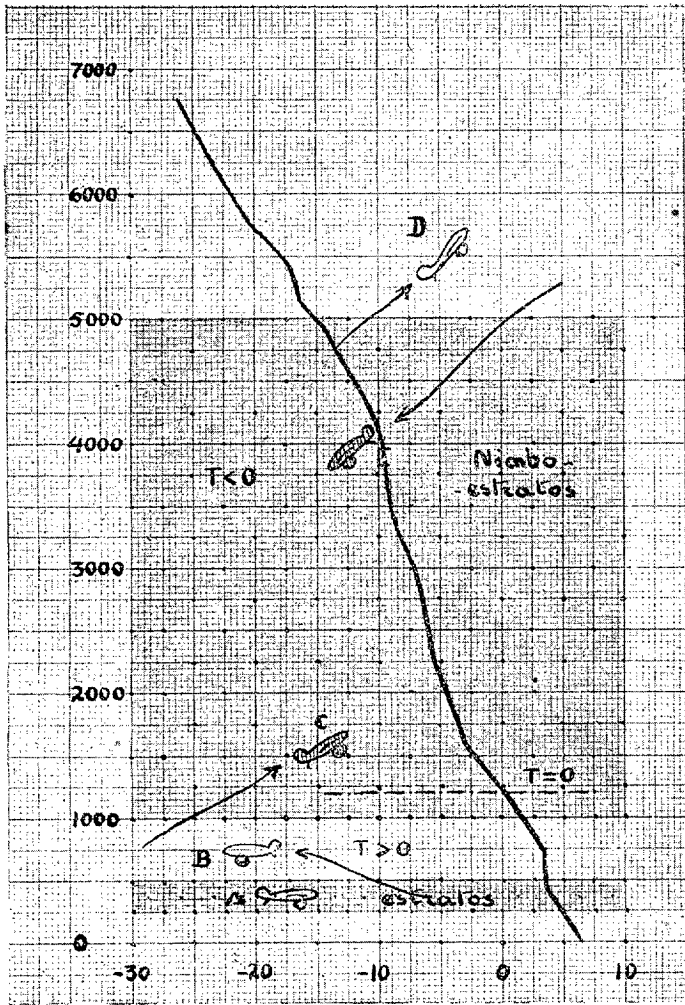


Figura 4.

cero grados se halla a unos 1.200 metros y dentro de una capa de nimboestratos, cuyo espesor, grande, oscila entre 1.000 y 5.000 metros. Cerca del suelo existe también una capa de estratos con espesor pequeño, y cuya temperatura es superior a los cero grados. La nube espesa de nimboestratos tiene mayor contenido en nieve, aguanieve y agua que el caso del altoestrato de la figura anterior. Los aviones A y B que vuelan dentro del estrato bajo, o saliendo de él, no reciben depósito

de hielo, ya que las temperaturas se mantienen por encima de tres o cuatro grados sobre cero. El avión C, que penetra en la capa de nimboestratos, debe temer peligrosas formaciones de hielo desde los 1.200 metros, en que se halla la isoterma de cero grados, siendo la formación de tipo mixto entre hielo frágil o hielo vítreo, y difícilmente podrá coronar el techo superior de la nube. Si consiguiese llegar a la posición B (ya que la formación iría disminuyendo lentamente por efecto de la baja temperatura y ser menos adherentes los cristales de nieve), quedaría con la cantidad últimamente formada. El avión E corre todavía más peligro que el C, ya que una vez formado el hielo no podría recuperar probablemente la altura primitiva, y el hielo aumentaría progresivamente con el descenso. En resumen: hay que evitar el penetrar en nubes del tipo nimboestrato cuando su temperatura está próxima y por debajo de los cero grados.

La figura 5 contiene dos isotermas de cero grados: una hacia los 800 metros y otra hacia los 2.000, quedando entre ambas superficies isotermas una zona de temperatura superior a cero grados por inversión térmica, originada, bien por subsidencia o, mejor aún (ya que aparecen los altoestratos), por una invasión cálida y marítima. De la capa de altoestratos,

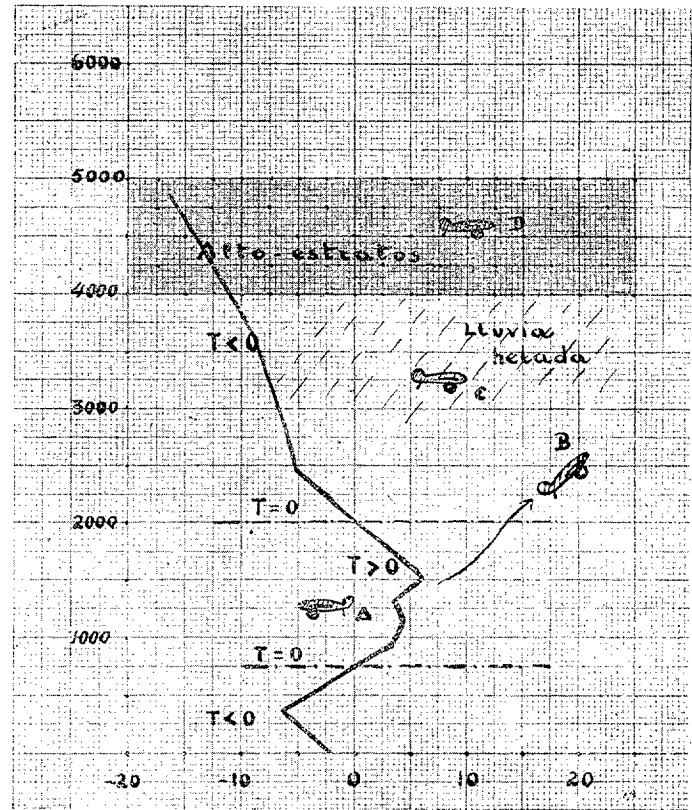


Figura 5.

entre 4.000 y 5.000 metros, se registra precipitación de lluvia helada, y el avión C que la recibe se cubre de hielo cristal muy peligroso, mucho más peligroso que el hielo frágil formado sobre el D, que vuela dentro de la capa de altoestratos. Si la precipitación alcanza la inversión, tendremos poco peligro para el avión A. No se intente jamás seguir la trayectoria del avión B. En resumen: las formaciones de hielo que determinan las precipitaciones de agua sobrefundida o lluvia helada son peligrosas, y con ellas no se debe ganar altura, sino al contrario, perderla de manera continuada.

En la figura 6 hay peligro de formación únicamente dentro de la capa de estratocúmulos, entre los 250 y 500 metros, por ser la temperatura inferior a los cero grados centígrados, aunque como el espesor de este tipo de nubes no es grande, casi siempre se podrá llegar a la posición B, con lo que se conseguirá que el depósito no continúe formándose.

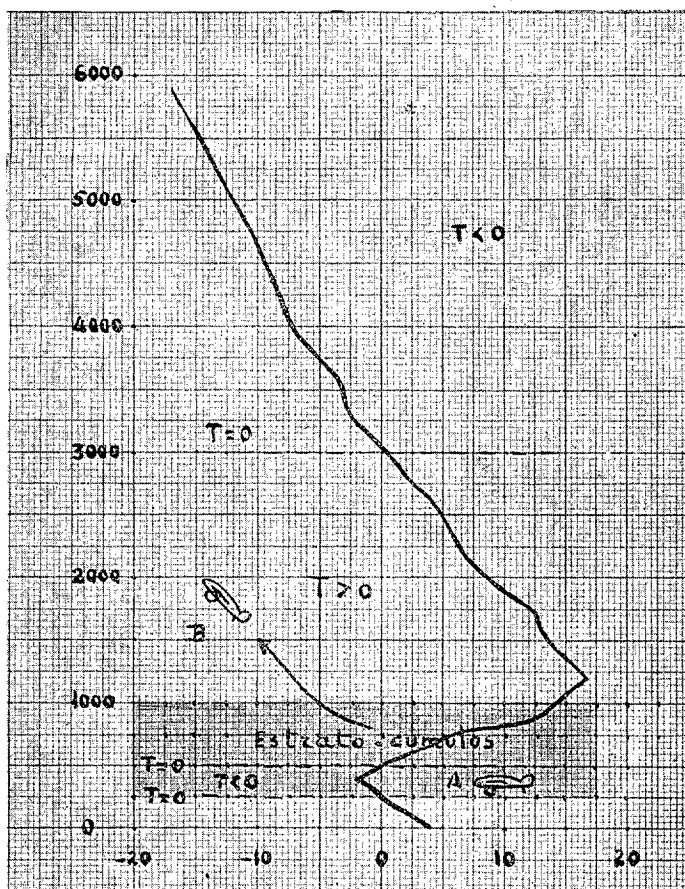


Figura 6.

VII. REGLAS GENERALES PARA LOS PILOTOS CUANDO FALTE EL DIAGNOSTICO

Si durante el vuelo se forma hielo sobre el avión, lo que interesa es salir cuanto antes de este peligro.

El hielo se forma prácticamente entre los 0° C. y los -11° C.; pero como este margen de temperatura representa por término medio una diferencia de altura de 2.000 a 2.500 metros, no siempre es posible salvarla, sobre todo cuando las posibilidades de vuelo han disminuído por la acumulación del depósito de hielo.

Un método consiste en volver a perder altura hasta alcanzar una capa donde la temperatura sea superior a los 0° C. Claro que hay que tener en cuenta la base inferior de la nube y si el terreno sobre el que se vuela es llano o montañoso, y que pueda permitir sin dificultad el vuelo bajo.

Si el termómetro del avión va marcando más temperatura y está próximo a los 0° C., y esta temperatura sube con la altura, lo mejor es calar la nube, ya que lo más seguro es que nos encontraremos con una inversión térmica y cielo despejado.

Cuando se trate de niebla o de estratos muy bajos, o cuando la visibilidad es mala, entonces no queda otro remedio que ganar altura con la esperanza de que el hielo (como ocurre generalmente con el de las nieblas o estratos bajos) sea de poca importancia y desaparezca al perforar.

Si la nube es densa y se observa formación de hielo, el peligro es entonces grande, y sin pérdida de tiempo hay que salir de él. Este peligro es mucho mayor cuando se forma por medio de lluvia, nieve o aguanieve. Lo mejor en este caso es, inmediatamente que se nota la formación, regresar por el mismo camino donde anteriormente no se formaba. Si esto no fuera posible por notarse tarde la formación de hielo, lo mejor es continuar subiendo, con la esperanza de que las bajas temperaturas hagan cesar la formación, o por lo menos dar con la parte de la nube en que los cristales son solamente de nieve y se desprenden con más facilidad. Claro que en este

último caso, si las reservas del avión no son suficientes, lo mejor es emprender el descenso, cosa que ha de efectuarse siempre cuando se sabe que las condiciones inferiores son buenas.

VIII. FACTORES A TENER EN CUENTA EN EL PRONOSTICO

En la figura 7 se esquematizan los cuatro tipos principales en que pueden formarse depósitos de hielo, significando las A altas presiones y las B las depresiones o borrascas. De cada uno de estos tipos daremos casos reales en los que se verifican formaciones de hielo.

Las nubes de tipo cirrus, alto-cúmulos, altoestratos o cima de los cúmulonimbos tienen temperaturas que oscilan, por lo general, entre -10° y -15° C. Como los cirrus están formados por cristales de hielo, no se presenta dentro de ellos depósito ninguno sobre el avión. Los alto-cúmulos y altoestratos presentan casos frecuentes de formación de hielo; pero como su espesor suele ser pequeño, la formación será ni muy pesada ni muy densa, ya que el contenido en agua es también pequeño, a no ser que el vuelo dentro de estas nubes sea muy prolongado.

En un frente caliente la capa de nubes es muy extensa, y las precipitaciones durante el invierno son de nieve o aguanieve, siendo únicamente mayor el techo nuboso delante del frente, y del tipo de altoestratos o cirrocúmulos a medida que nos alejamos de él.

La capa principal de nubes, en las proximidades del frente caliente, es muy extensa, con espesores muy grandes, que pueden llegar incluso hasta los 3.000 metros, como ocurre con los nimboestratos. Esta capa nubosa debe evitarse siempre, sobre todo cuando se sepa que la isoterma de 0° C. se halla en su zona inferior.

La formación de hielo es más frecuente en los frentes que presentan actividad.

Como en un frente caliente la masa cálida sube sobre la fría, la situación es muy favorable para la formación de lluvia helada, y las condiciones de vuelo en estas circunstancias pueden ser muy peligrosas.

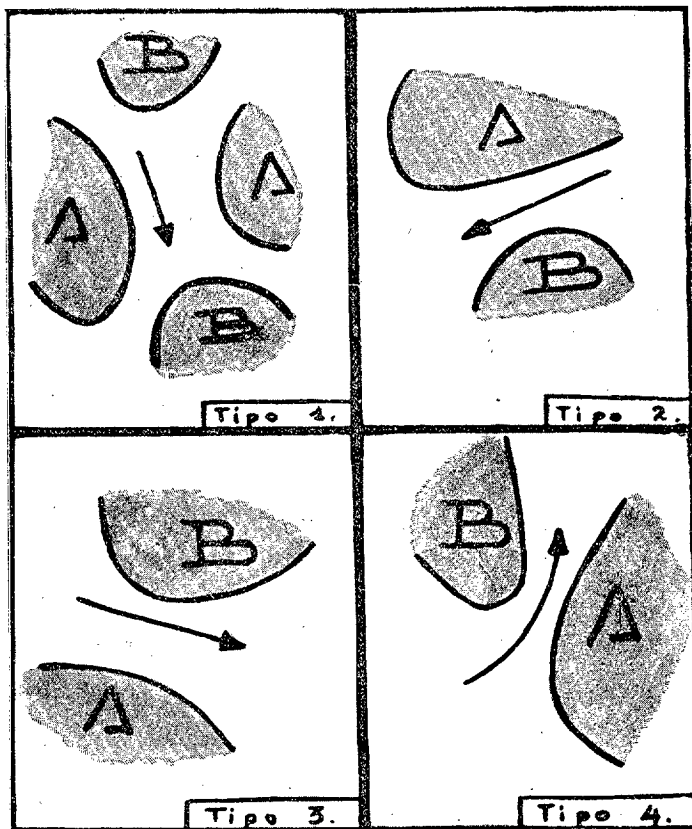


Figura 7.

Frente a las zonas montañosas no hay peligro ninguno a sotavento de las mismas, mientras que existe, y grande, a barlovento, ya que al elevarse la masa de aire y disminuir la temperatura se producen efectos de condensación, aumentando el contenido de agua líquida de una manera rápida, dando lugar a rápidas formaciones de hielo, y que en España son de las más frecuentes.

En un frente frío la capa de nubes no es continua, y al penetrar en una nube se puede salir pronto de ella.

En las nubes de desarrollo vertical son poco frecuentes los casos de formación de hielo, precisamente porque siempre se evita el penetrar en ellas, sobre todo cuando se trata del cúmulonimbos, ya que es la nube productora de tormenta, aunque conviene recalcar, sin embargo, que las formaciones de hielo en el cúmulonimbo son verdaderamente serias, ya que se extienden a espesores muy considerables y grandes contenidos de agua, y que si el porcentaje de casos no es grande, es por evitar los pilotos este tipo de nubes.

Las formaciones de hielo durante el invierno en las capas de estratocúmulos suelen ser de poca importancia, a no ser que se vuele dentro de ellas largo tiempo, ya que el contenido de agua en ellas, aunque muy variable, suele ser pequeño, por proceder generalmente de la evolución de los cúmulos.

Para poder hacer previsiones sobre las formaciones de hielo, y aparte de los elementos anteriormente citados que hay que tener en cuenta, vamos a especificar los elementos correspondientes a tener en cuenta en los mapas sinópticos.

En la figura 8 se dibuja la situación general correspon-

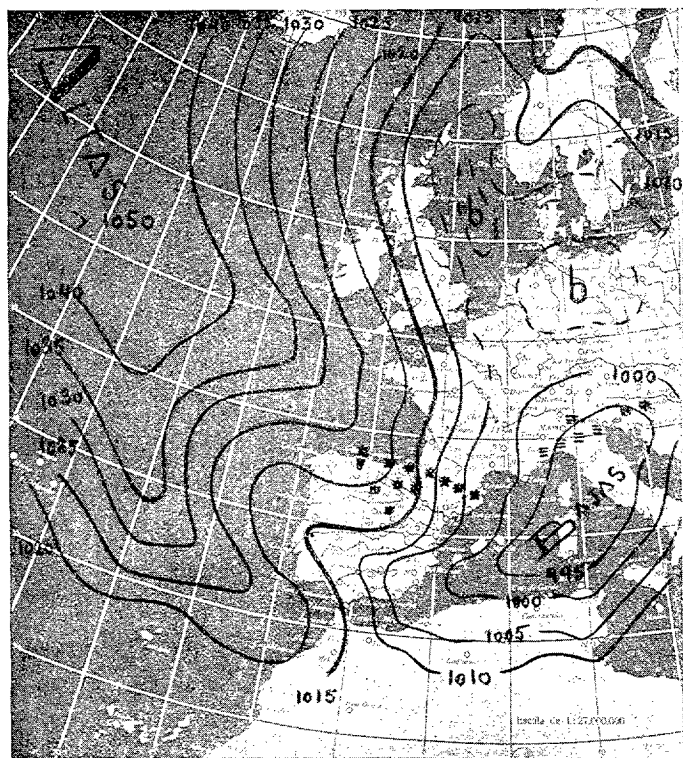


Figura 8.
Tipo 1 (17 enero 1940).

diente al 17 de enero de 1940, que corresponde al tipo primero de los cuatro señalados en la figura 7. Es uno de los casos más típicos de formación de hielo en nuestra península. Se registran nevadas en Cantabria y Pirineos, y en León y Castilla la Vieja. El régimen es del NW., y los tipos de nubes son, por lo general, en las zonas citadas, cúmulos y cúmulonimbos, y nieblas de tipo helado en las zonas donde el viento no pasa de los 12 a 15 kilómetros-hora. La superficie isoterma de 0° C. suela estar entre 800 y 1.100 metros, con temperaturas en el suelo de 2 a 5 grados bajo cero en la zona de Castilla, y de 12 a 15 grados bajo cero en la zona pirenaica. La capa nubosa suele tener espesores de 1.500 metros.

La figura 9 corresponde al tipo número 2, y se refiere a la situación general del 12 de enero de 1940. Las masas que afluyen sobre nuestra península tienen origen ártico continental, aunque en el Mediterráneo adquieren en parte carácter de masa marítima. Las precipitaciones de agua o aguanieve son frecuentes en la zona levantina del litoral, mientras que en los Pirineos y centro de España las nevadas son abundantes. El pe-

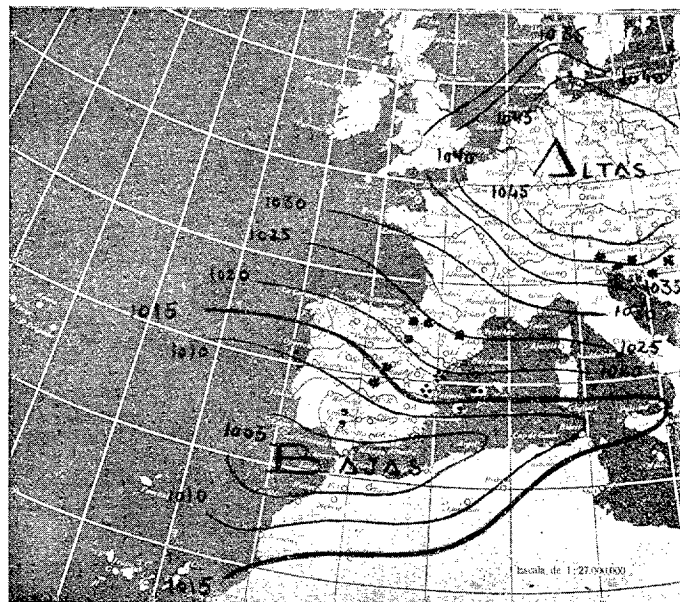


Figura 9.
Tipo 2 (12 enero 1940).

ligro de formación en estos casos, aparte del obstáculo que presenta la nieve en el parabrisas, corresponde principalmente al espesor de las nubes en el litoral, desde el cabo de Creus hasta Valencia, nubosidad que penetra hacia el interior por la sierra de Utiel, sierra de Cuenca, sierra de Albarracín y zonas montañosas de toda Cataluña, lo mismo que en la sierra de Demanda y Somosierra; pero siendo, desde luego, las más peligrosas formaciones en las primeras zonas citadas. Los espesores nubosos suelen ser de 2.000 metros, y la temperatura de estas zonas montañosas de 5 a 6 grados bajo cero.

En la figura 10 presentamos un caso del tipo 3, correspondiente al 5 de enero de 1942, en donde las masas cálidas del régimen del W., procedentes del Atlántico, determinan un

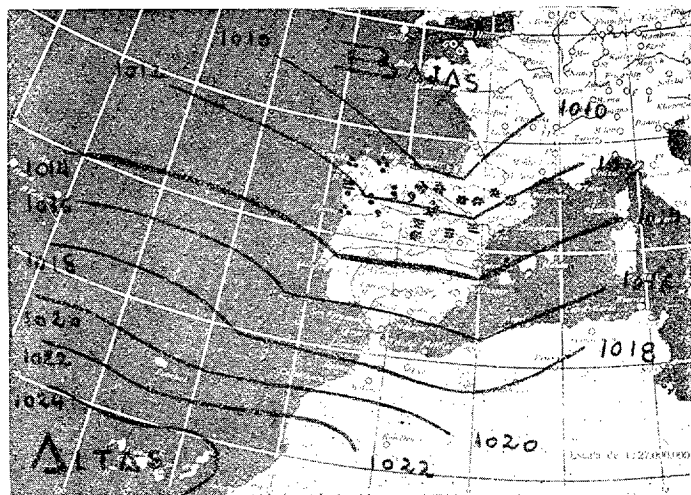


Figura 10.
Tipo 3 (5 enero 1942).

frente caliente en nuestra península, que suele presentarse a continuación de un largo período de masas frías estacionadas sobre aquélla. Se producen precipitaciones de agua o nieve, con grandes zonas de niebla, en general de tipo helado, siendo las más peligrosas las formaciones que tienen lugar en las lluvias sobrefundidas que pueden caer sobre el avión. El espesor nuboso suele ser grande, especialmente en toda la región de Galicia y Asturias, ya que los nimboestratos empiezan desde pocos centenares de metros y terminan entre los 2.000 y 3.000 metros. El régimen es de Poniente, y las temperaturas de la capa superior de la nube son, por lo general, de 15 a 20 grados bajo cero, estando la capa inferior a pocos grados por encima del punto de congelación. La zona central de España, hacia Levante, Ebro y Cataluña, es la que presenta entonces más frecuencia de nieblas heladas, sobre todo cuando la depresión del Cantábrico pasa al Mediterráneo, estacionándose entre la costa y Baleares o entre Baleares e Italia, para determinar el régimen del NE. de la figura anterior.

El caso de la figura 11 corresponde al tipo 4, y es un mapa

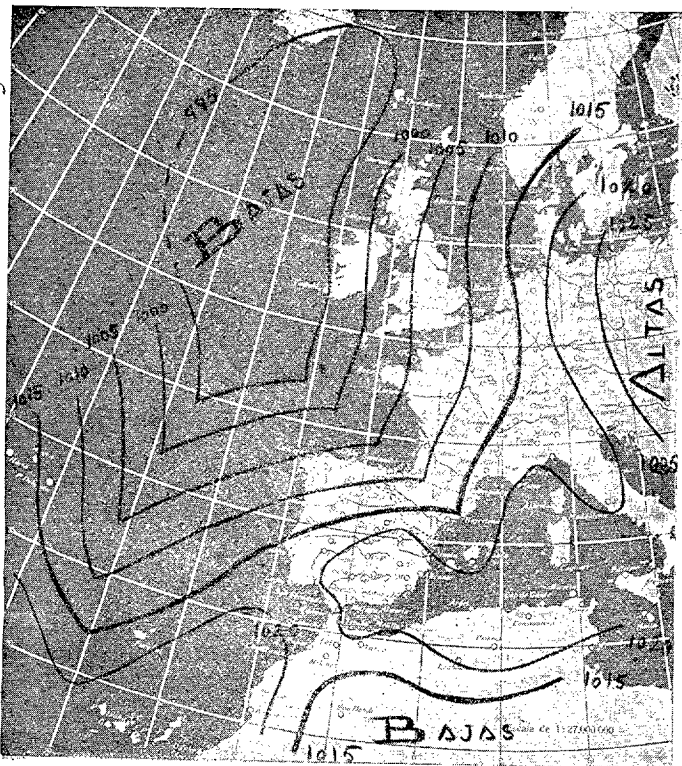


Figura 11.
Tipo 4 (26 febrero 1940).

del 26 de febrero de 1940. El régimen es del SW. y las formaciones nubosas son, por lo general, del tipo de altocúmulos y altoestratos, excepto en la vertiente atlántica, en que hay estratocúmulos y algunas formaciones de desarrollo vertical.

Las temperaturas en la mitad norte de España oscilan entre 0 y 2 grados centígrados sobre cero. Las precipitaciones son escasas en la mitad oriental, y solamente el peligro de formación de hielo se verifica con alguna intensidad al permanecer en vuelo dentro de las nubes medias. La capa nubosa de altocúmulos y altoestratos suele tener temperaturas de -10° C., y el espesor de estas nubes alrededor de 1.000 metros.

Con régimen de S. o del SE. no he podido en España llevar a cabo ninguna comprobación y, por tanto, ningún estudio sobre las condiciones favorables para la formación de depósitos importantes, aunque sí puede decirse que es la mínima frecuencia en que son posibles.

IX. MEDIOS ANTIHIELO DE QUE SE DISPONEN

Para evitar las formaciones en el borde de ataque de las alas y en otras partes del avión existen medios mecánicos eléctricos y químicos.

Para el borde de ataque hay un dispositivo neumático tipo Goodrich, por medio del cual se reviste el borde de ataque con una vaina de caucho, que presenta en su interior tres cámaras de aire longitudinales, y que infladas por el piloto con aire comprimido en el momento oportuno agrieta el hielo, y el viento creado por la velocidad lo desprende; queda únicamente el peligro de que los trozos desprendidos golpeen el empenaje de cola.

La toma del anemómetro se protege mediante calefacción, con resistencia eléctrica.

El horizonte giroscópico artificial puede ponerse en comunicación con la bomba de alimentación del interior de la cabina, cuya temperatura será superior a la del exterior.

El carburador puede calentarse, según ya dijimos, con los gases de escape, agua de refrigeración del motor o aceite de lubricación.

Las alas se protegen con sistemas químicos o físicoquímicos. De este último tipo tenemos el antihielo Dunlop (Etilglicol y alcohol etílico), inyectado en el borde de ataque del ala, aunque también se emplean para ese caso sistemas térmicos como el de Burell, con los gases de escape.

Tanto para las alas como para los parabrisas, se emplea el método DVL, formado por glicerina, gelatina y sebo.

Todos estos métodos no consiguen eliminar una formación notable, aunque sí permitan mayores posibilidades para salir de las condiciones desfavorables. La mejor recomendación que puede hacerse es la de atender las indicaciones de la Meteorología y guiarse por las mismas razones de los aviones, que llevan a cabo los sondeos meteorológicos, que con toda clase de tiempo efectúan el servicio y que consiste: primero, en conocer la situación general, la marcha de los frentes y evolución de los mismos, evitando las zonas que en todo este artículo se citan; y segundo, una vez formado el hielo, si no ha podido evitarse, regresar por el camino en donde anteriormente no se formaba. Como se conoce el estado del tiempo en una gran zona, si las posibilidades del avión son suficientes, lo correcto es salir siempre por arriba y efectuar el planeo desde los 6.000 ó 7.000 metros por zonas despejadas, aunque no se regrese al mismo aerodromo. Si el depósito de hielo es grave desde el principio, no hay más remedio que suprimir el vuelo, ya que al avión de sondeo meteorológico no le interesa volar bajo las nubes, sino alcanzar cotas casi hasta el límite de la troposfera.

