

Condiciones meteorológicas del vuelo estratosférico

Por A. TORRALBA GARCIA, Meteorólogo.

Mucho se ha hablado del futuro vuelo estratosférico, acompañado, como todo lo que no pertenece por completo al conocimiento del hombre, de las más variadas y hasta fantásticas de las hipótesis.

Nosotros, en el presente artículo, haremos un estudio, a "grosso modo", que responda a las cuestiones siguientes: ¿Cuáles son las condiciones físicas y meteorológicas reinantes en la estratosfera que puedan influir en el vuelo de los aviones, y, si es factible, cuáles son la naturaleza de las posibles influencias?

Llamamos atmósfera eficiente, desde hace unos cuarenta años, a la zona que se extiende hasta 80 kilómetros, altura obtenida por medio de un sencillo cálculo astronómico basado en el fenómeno de los crepúsculos, que terminan o empiezan cuando el Sol está a 18° por debajo del horizonte, y cuya expresión matemática no es de este lugar, por encontrarse en cualquier tratado de Meteorología. Esta zona viene siendo explorada, desde ese tiempo acá, regularmente por globos sonda o radiosondas, siendo sus propiedades bastante bien conocidas, salvo algunas dudas que surgen en cuanto al régimen de vientos por encima de los 10 kilómetros, límite de apreciación general del teodolito, salvo casos especiales óptimos, como el realizado por el autor, que alcanzó los 20.000 metros en Sevilla.

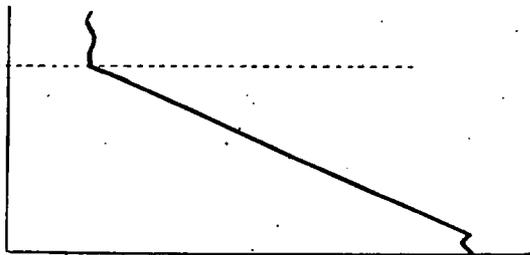
Teisserenc de Bort, basándose en los caracteres de isoterma que presentan las capas altas de la atmósfera, la llamó primeramente "capa isotérmica", pero el desarrollo de las observaciones han mostrado que esta temperatura no era la misma en todos los puntos del globo (-50° C. en las altas latitudes y -85° C. en el ecuador), proponiendo después el nombre de estratosfera, con el que se la conoce desde entonces en Meteorología, y a la que se le concede una importancia extraordinaria.

Empecemos por ver la distribución de los factores que motivan los fenómenos meteorológicos en estas regiones.

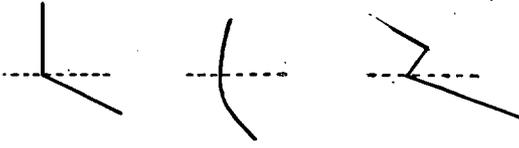
Temperatura.—Hace tiempo que se sabe (por observaciones en montañas primeramente y por

globos sonda después) que la temperatura del aire decrece con la altura en la proporción de $0,6^\circ$ C. por cada 100 metros aproximadamente, pues aunque los sondeos registran valores muy variables de este gradiente, el cual, según los casos, oscilan desde valores negativos (capas de inversión térmica) hasta los superadiabáticos, puede tomarse este valor medio para cálculos, habiéndose llegado de este modo a una estimación de la altura de la atmósfera, que se estableció en unos 600 kilómetros, altitud a la cual debía encontrarse el cero absoluto, cálculo erróneo puesto que en él se admitía la constancia de este gradiente a todas las alturas, y cesando en realidad por encima de los 10 kilómetros. Hoy sabemos, según el profesor noruego Carl Störmer, que ha demostrado que las auroras polares, originadas, según él, por el bombardeo de los rayos catódicos procedentes del Sol sobre la atmósfera terrestre, tiene una extensión de 100 a 800 kilómetros de altura, y, por tanto, que a esta altitud existen partículas gaseosas, es decir, atmósfera eficiente. Esto nos dice que el decrecimiento de la temperatura con la altura no puede mantenerse en la anterior proporción, descubriéndose merced a los globos sonda que esta proporción era solamente válida hasta una altura de 10 kilómetros, a partir de la cual la temperatura se mantiene casi constante hasta las alturas máximas alcanzadas por los globos sonda.

Si seguimos las indicaciones de un sondeo obtendremos un diagrama en el que a partir de la capa próxima al suelo la temperatura sigue una recta inclinada, y a partir del codo elevado sigue una línea casi vertical, con oscilaciones de 2 ó 3 grados alrededor de esta dirección general.



Algunos sondeos acusan, más o menos, el codo elevado, como indican los diagramas siguientes:



Se observa en todos que la curva presenta un gancho o codo, pasando de la recta inclinada a una curva casi vertical. La altitud y la temperatura correspondiente al codo *B* no es siempre la misma, sino que varía, más o menos, según el lugar del sondeo, la estación en que se verifica y la situación meteorológica reinante. Esta dualidad de la variación de la temperatura con la altura dió motivo a los meteorólogos para denominar esta capa en términos técnicos en el campo de la Meteorología, dándosele el nombre de troposfera, o sea la capa en la cual la temperatura decrece con la altura de una manera casi constante en la proporción anteriormente citada, la cual contiene las tres cuartas partes del aire atmosférico. En cuanto a la superior, ya hemos dicho su nombre y las condiciones que la caracterizan.

La superficie que separa la troposfera de la estratosfera, es decir, el lugar geométrico de los puntos de la atmósfera correspondiente a los puntos *B* de los diagramas aerológicos, ha recibido el nombre de tropopausa, dado por los meteorólogos ingleses.

Referente a la frontera superior, no ha sido explorada por los globos sonda de una manera y durante un tiempo que permitan un estudio concienzudo; sin embargo, los métodos indirectos empleados (conclusión de numerosas experiencias —Maurain, Lindeman, Dobson, Whipple, etc.—, que muestran que el aumento en la velocidad del sonido a partir de una cierta altura no se explica sino admitiendo un aumento de la temperatura a partir de los 30 kilómetros) permiten admitir que se llega a los 400° absolutos a una altura de 50 kilómetros, apoyando esta hipótesis el conocimiento de la preponderancia del ozono a esta altura, que produce una capa de tres milímetros de espesor, y teniendo en cuenta el poder absorbente de las radiaciones ultravioletas de este gas, que, transformadas en calor, deben elevar considerablemente su temperatura. Esta frontera se llama estratopausa.

Se ve, pues, que los sondeos aerológicos revelan en la estratosfera una casi constancia de la temperatura a lo largo de una vertical, pero no una constante rigurosa, aun teniendo en cuenta que el radiosonda, al elevarse, no sigue una línea vertical rigurosa, porque los vientos horizontales lo arrastran. Sin embargo, la curva del decrecimiento de la temperatura en la troposfera (a excepción de algunos accidentes en las capas bajas) sigue una recta casi perfecta. Esto prueba:

- a) Que sobre una vertical rigurosa, el decrecimiento de temperatura es perfectamente lineal.
- b) Que las diferencias de temperatura, en el sentido horizontal, son insignificantes ante las diferencias en el sentido vertical.

En la estratosfera, por el contrario, la curva oscila, como hemos visto, alrededor de una recta paralela al eje de temperaturas, lo cual prueba:

- a) O bien que, sobre una vertical rigurosa, la temperatura no es absolutamente constante.
- b) Que hay variaciones horizontales bastante notables.
- c) O que se den las dos circunstancias.

Se ve, pues, que no hay isoterma en la estratosfera. Además, en una misma estación, dos sondeos, ejecutados con algunas horas de intervalo, muestran variaciones de varios grados a la misma altitud.

Turbulencia.—Sin duda, en razón de la detención del decrecimiento de la temperatura con la altura a lo largo de una vertical, no puede haber en la estratosfera movimientos verticales (convectivos) en la amplitud de los que tienen lugar en la troposfera. Aquí, sin embargo, es preciso que volvamos a recordar lo dicho al hablar de la temperatura, en la cual llegamos a la conclusión de que no existía isoterma, es decir, en pequeña escala es menos uniforme la temperatura en la estratosfera que en la troposfera. Esto hace prever una fuerte turbulencia, semejante a la originada en las capas próximas al suelo. En efecto, cuando en algunas circunstancias excepcionales han podido seguirse los globos sonda con el teodolito a bastante altura, se ha observado que aquél se comportaba de modo diverso después de haber franqueado la tropopausa (los movimientos de balanceamiento y rotación se exageraban). Por otra parte, los diagramas obtenidos por Jaumotte y J. Bjerknes (meteorólogo noruego, iniciador de la moderna

teoría de los frentes) muestran las desviaciones más acentuadas cuando el globo penetraba en la estratosfera.

Además, aun habiendo isoterma, ésta sería favorable al mantenimiento de una turbulencia, puesto que aumenta el coeficiente de conductibilidad.

Perturbaciones.—La meteorología estratosférica no está aún bastante desarrollada para que se fije sobre una seguridad el régimen y naturaleza de las perturbaciones de la estratosfera. Que hay perturbaciones importantes, parece ser

cierto. Los sondeos de temperatura permiten calcular la presión en la baja estratosfera, habiéndose puesto en evidencia grandes variaciones de presión, a la vez que índices de perturbaciones.

Razonando por analogía con lo que sucede en la troposfera, he aquí lo que puede decirse:

En la superficie del globo, la temperatura máxima del ecuador va decreciendo hasta el polo. Su caída se acelera, sobre todo a partir del paralelo 50 en el hemisferio Sur, según la siguiente tabla:

LATITUDES	Ec /10°	10,20°	20,30°	30/40°	40 50°	50/60°	60/70°
Variaciones de temperaturas.....	— 0,8	— 2,5	— 4,6	— 6,5	— 6,5	— 8,6	— 8,8

Esta discontinuidad del gradiente de temperatura, según el meridiano, es el signo hacia 50-60° del "frente polar", o sea, superficie de discontinuidad entre el aire caliente y húmedo tropical y el frío, más seco, polar, que es el na-

cimiento de las perturbaciones de la zona templada. Trasladémonos a la estratosfera sobre la superficie de nivel de 17 kms. Sobre esta superficie es el polo el que está más caliente, descendiendo hacia el ecuador, según el cuadro siguiente:

LATITUDES	Polo	50° N.	30° N.	Ecuador
Temperaturas.....	— 50°	— 55°	— 63°	— 85°
Diferencias referidas a 0°		1,2	4	7,3

Notamos una verdadera rotura del gradiente de temperatura en las latitudes más bajas de 30°, que pudiera ser el signo de un frente llamado por los franceses "frente ecuatorial estratosférico", homólogo del frente polar troposférico, dándole el nombre de ecuatorial en lugar de polar, porque no hay que olvidar que el sentido de variación de la temperatura con la latitud es inverso.

Prosiguiendo esta analogía, observamos que el frente polar troposférico tiene su posición media hacia 50-60°; pero sus perturbaciones (ondulaciones) se extienden a todo el casquete polar y zona templada. Dándole una amplitud análoga a las perturbaciones del frente ecuatorial estratosférico, se nota que éste abarcará toda la zona tropical y templada. Sólo el casquete polar estará a salvo de estas perturbaciones, co-

rrespondiendo en características a la zona tropical del frente polar troposférico; pero lo que no sabemos es si esta analogía llegará a hacer frecuentes en éste meteoros particulares a su clima, que perjudicarían las condiciones de vuelo, como sucede en la zona ecuatorial troposférica, que tan frecuentada se halla por los ciclones y tifones como por las tempestades de arena en los desiertos que comprende.

Según nos demuestran los sondeos aerológicos, calculando la topografía isobárica en la altura, las perturbaciones motivadas por una depresión móvil en nuestras regiones desaparecen hacia los 8.000 metros, todo signo de inflexión en las isobaras. Esto nos autoriza a admitir que estas depresiones móviles no influyen en la estratosfera. Por otra parte, las teorías noruegas (escuela de Bjerknes y Vergeron), que tanto han

hecho progresar la ciencia meteorológica, nos dicen que las superficies de discontinuidad que acompañan a los frentes no se extienden a la tropopausa. Hay quien opina, como Störmer, basándose en la existencia de las nubes irisadas (situadas de 20 a 30 kilómetros de altura), que éstas son motivadas por el movimiento ascendente de las perturbaciones que tienen lugar en la troposfera, admitiendo, por tanto, que éstas se propagan e influyen en la estratosfera. A nosotros nos parece un tanto osada esta hipótesis, aunque admitimos, según hemos visto anteriormente, que en las capas bajas de la estratosfera existen fuertes variaciones de presión y perturbaciones, apoyando esta teoría las medidas encontradas por J. Bjerknes y Jaumotte, que muestran que cuando una variación de presión es observada en la tropopausa, las variaciones de temperatura troposférica eran tales que atenuaban profundamente la variación de la presión correspondiente a la superficie junto al suelo.

De modo que podemos afirmar que la troposfera y la estratosfera tienen cada una un régimen de perturbaciones independientes.

Vapor de agua.—La cantidad de vapor de agua contenida en un metro cúbico de aire decrece rápidamente con la altura, por dos razones:

1.^a La evaporación tiene lugar en la superficie terrestre, y el vapor de agua no se extiende a capas más altas si no es por medio de movimientos ascendentes o turbulencias.

2.^a Las condensaciones, seguidas de precipitación, detienen la ascensión del vapor de agua.

Los valores obtenidos a diversas alturas de la humedad relativa son los siguientes:

10 kms.	32 %
12 "	28 %
14 "	21 %
16 "	18 %

Nubes.—Podemos referir el estado reinante a 10 kilómetros con 32 % de humedad al estado en el Sáhara, donde se registran estos mismos valores en la humedad, notando de esta forma que deben ser tan poco probables allí las

nubes como son en éste las nieblas, excepción hecha de las nubes correspondientes al tipo cumulonimbus, que están animados de grandes movimientos verticales, y de algunos cirrus, que aunque su altura media es de 8.500 a 9.000 metros, también se han observado, en casos aislados, hasta alturas de 20 kilómetros en Manila (14 N.), y a 18,5 kilómetros en Batavia (6,5° S.), ambas en la zona ecuatorial.

Algunos observadores han obtenido en Noruega nubes luminosas nocturnas, que, por medio de triangulaciones, se les ha calculado una altura de 100 kilómetros, creyéndose que eran agitaciones de nubes en las que el agua se encontraba en estado de subfusión.

Störmer ha señalado la existencia de nubes irisadas o nacaradas (Perlmutterwolden), visibles, en el día, a una altura de 26 a 30 kilómetros, sin poder afirmar de qué estaban formadas. Estas nubes son de una extremada rareza.

Los resultados obtenidos de los vuelos de investigación realizados por la T. W. A. en 1937 son que a 9.000 metros las nubes eran siempre delgadas (espesor de 60 a 90 metros), con vuelo entre ellas similar al volar en una neblina moderada, con alguna ligera turbulencia al atravesarla. Parece ser que estas condiciones se agudizaban en el paso de un frente cálido, pero sin rebasar el sistema nuboso que le acompaña a la altura de 9.000 metros, aunque si eran bastante extensas, apreciando prácticamente que la cima de los cumulonimbus, si bien se extendían hasta 10.500 metros, al volar sobre éstas cabezas de yunque, ya a alturas de 9.000 metros sólo encontraron un ligero "meneo" al entrar y salir de la nube.

La estratosfera es, pues, casi seguro una zona de cielo claro, desprovisto de sistemas nubosos perturbadores al vuelo.

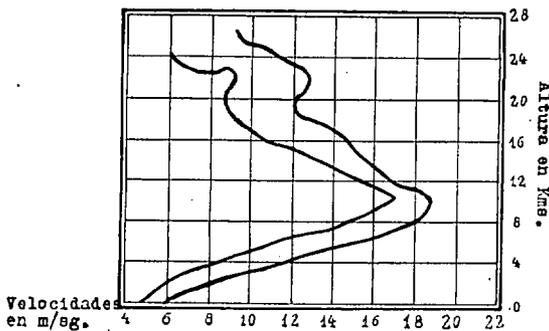
Vientos.—Como hemos dicho anteriormente, éste es el factor menos estudiado, por la escasez de medios de observación.

M. Maurain, reuniendo 200 sondeos, que pasaron de los 10 kilómetros de altura, ejecutados en 30 estaciones diferentes (en la zona templada y durante un periodo de ocho años), encontró los siguientes valores medios del viento:

ALTITUDES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Velocidad media en m/s.	5,7	6,6	7,5	8,1	8,9	9,9	11,1	12,2	13,5	14,9	15,6	13,8	11,9	10,9	10,1	9,4	9,4	8,1	8

Se ve que la velocidad media del viento crece a razón de un metro por segundo, aproximadamente, pasando por un máximo acentuado en los 11 kilómetros de altura, y decrece rápidamente en la estratosfera.

Pepler había encontrado resultados parecidos en las estaciones de la Europa meridional y central, situadas entre 45 y 55° de latitud, habiendo, igualmente, encontrado una dirección resultante, con muy débiles variaciones, de W., precisando que el máximo del viento no se produce exactamente al nivel de la tropopausa, sino algo más arriba. Exponemos a continuación un diagrama resumiendo las medidas de Pepler y de Maurain (dos curvas, una en verano y otra en invierno), expresando la velocidad del viento en función de la altura:



Conviene aclarar que estos valores fueron hallados en tiempo de cielo claro y de régimen de vientos favorables, es decir, en regímenes anticiclónicos, en la troposfera.

También se han hecho estudios del régimen de vientos en la estratosfera valiéndose de ciertos hechos fortuitos, como la erupción del volcán Krakatoa (islas de la Sonda), que proporcionó una ayuda preciosa para este conocimiento en la estratosfera ecuatorial.

Este volcán, situado en el paralelo 6.° de latitud Sur, lanzó a la atmósfera residuos que permanecieron por espacio de tres años, dando lugar a fenómenos ópticos, que permitieron seguir su propagación y determinar su altura. Describieron como un anillo ecuatorial (20° N. a 40° S.), propagándose del E. al W., dando varias veces la vuelta a la Tierra, revelando la existencia de vientos del E. de 35 metros por segundo de fuerza. Su altura decreció progresivamente de 32 a 25 kilómetros. La estratosfera ecuatorial empieza, como hemos visto, a 17 kilómetros, representando bastante bien estas velocidades el movimiento estratosférico ecuatorial. Por otra parte, los sondeos realizados en

el ecuador revelan velocidades, a 15 kilómetros, de 12 metros por segundo.

Limitándonos a consideraciones puramente teóricas, se puede considerar la atmósfera como un torbellino circular alrededor del eje de la Tierra (hipótesis que representa la circulación general), permitiéndonos las ecuaciones de la Hidrodinámica establecer una relación entre la variación del viento con la altura y la variación de la temperatura con la latitud.

En la troposfera, la temperatura crece del polo al ecuador, resultando que los vientos del Oeste crecen con la altura, mientras que los vientos del Este decrecen; todo lo cual está confirmado por los hechos. Pero en la estratosfera todo es inverso, porque la temperatura crece del ecuador al polo (a la misma altura). Por consecuencia, los vientos del Oeste decrecen y los vientos del Este crecen.

Este resultado teórico da idea del decrecimiento del viento en la estratosfera en nuestras latitudes, en las que sopla el viento del Oeste, y de su crecimiento en el ecuador, donde son del Este.

Visibilidad.—Las capas de aire en las alturas estratosféricas ofrecen una visibilidad bastante mayor que en la troposfera, puesto que ni el vapor de agua ni las partículas que se elevan en esta última por turbulencia no llegan hasta ella (excepción hecha de los residuos provenientes de las erupciones volcánicas). Ya de 7.000 a 9.000 metros, según vuelos de investigación de la T. W. A., anteriormente aludidos, al atravesar nubes de unos 6.600 metros de espesor, indican que no eran densas en lo que respecta a visibilidad, siendo en su interior casi constante, calculando que sería del orden de los 400 metros.

Se ha podido observar que los vientos portadores de arena no se propagan en la altura; además, el decrecimiento del viento en la tropopausa de nuestras regiones será, pues, un obstáculo a la invasión de estas partículas.

Es posible que si los residuos del Krakatoa han persistido tanto tiempo en la estratosfera ecuatorial, haya sido porque su difusión hacia arriba era favorecida por el crecimiento del viento del Este, que hemos visto impera allí.

Resumiendo todo lo dicho, podemos decir que nuestras regiones estratosféricas son una capa de aire enrarecido, frío en su parte baja; seco, limpio, animado de movimientos generales, en sentido Este; menos rápido en su parte baja que en la troposfera, en su parte más elevada.

CONSECUENCIAS AERONÁUTICAS DE LAS CONDICIONES METEOROLÓGICAS DE LA ESTRATOSFERA.

Encontrándonos ya con conocimientos suficientes para darnos idea de las condiciones meteorológicas en la estratosfera, nos permitiremos hacer algunas incursiones hipotéticas examinando cómo se presentará el vuelo en avión hacia los 15 kilómetros de altura. No entraremos en detalles puramente técnicos de la construcción de estos aviones estratosféricos, puesto que, además de salirse fuera del campo del presente artículo, ha sido ya tratado en numerosos trabajos similares.

El motor.—A 15 kilómetros, el aire es ocho veces menos denso que en el suelo. Para conservar su potencia nominal, es decir, la compresión de la cilindrada, es preciso restituir al aire su densidad normal. Para ello se puede aumentar la compresión del gas en el cilindro, reduciendo el volumen relativo de la cámara de explosión, aunque no se puede ir muy lejos a causa de los fenómenos de encendido. Los constructores, parece ser que han preferido restablecer la densidad de la mezcla carburante antes de su introducción en el cilindro, realizando esta sobrealimentación por medio de compresores, disponiéndolos en varias capas para reducir el calentamiento (adiabático) del aire comprimido.

Los compresores absorben una buena parte de la potencia del motor, pero inferior a la ganancia obtenida restableciendo la presión atmosférica normal.

Alas.—La teoría elemental de la resistencia del aire al avance del ala de un avión muestra que éste depende, además de la velocidad y de la superficie del ala, del ángulo de ataque. Esto responde exactamente para los vuelos ordinarios troposféricos; pero parece seguro que los vuelos estratosféricos alcanzarán velocidades bastante mayores que la velocidad del sonido.

Sabido que el aire no es un fluido perfecto, incomprensible y desprovisto de viscosidad, como lo admite la teoría elemental, observamos que el avance no depende sólo del ángulo del ataque, sino que, además, juegan un papel muy importante:

1.º La viscosidad cinemática del sonido (cociente de la viscosidad por la densidad) por medio del número de Reynolds, y 2.º De la compresibilidad (razón de la velocidad del ala a la velocidad del sonido) por el número Bairtown.

¿Qué efectos producen estos factores a 15 kilómetros de altura?

La viscosidad propia disminuye, porque independientemente de la presión, ella varía en el mismo sentido que la temperatura; pero como la densidad disminuye mucho más que la viscosidad propia, su cociente o viscosidad cinemática aumenta considerablemente. Se puede calcular que a 15 kilómetros ésta será de unas seis veces mayor que en la superficie terrestre.

La velocidad del sonido disminuye con la altura. A 55° C., temperatura de la estratosfera a la altura que consideramos, no es nada más que de unos 300 metros por segundo. Obtendremos, pues, un valor para el número de Bairtown alrededor de 1/2.

Ya se sabe que la fuerza de un ala disminuye rápidamente cuando este número excede a 1/2. Esto nos permite objetivar reservas en cuanto a la velocidad que tendrán los aviones estratosféricos, salvo modificaciones profundas en la técnica actual, pues si bien, aunque no a las alturas que aquí consideramos, se ha logrado volar superando la velocidad del sonido en época reciente, ha sido solamente por un tiempo de dos minutos y medio.

Propulsión.—Una pala de hélice no es en sí más que un ala sustentadora. Sus cualidades aerodinámicas, su rendimiento, varían considerablemente, de igual modo, con la compresibilidad, porque varía según las propiedades emisivas, selectivas y absorbentes del cuerpo considerado.

Se puede hacer una primera idea del fenómeno recurriendo al viejo actinómetro de Violle, destinado a medir las radiaciones del Sol por la diferencia entre las temperaturas de dos bolas huecas, la una ennegrecida de un negro mate, y la otra cubierta de una delgada capa de oro pulido.

En el Sol la bola negra se calienta antes que la bola brillante, porque ella absorbe las radiaciones solares sin reflejarlas, mientras que la bola brillante reflejará una gran parte de las radiaciones recibidas. Pero el fenómeno es más complicado porque las propiedades emisivas y selectivas de los cuerpos considerados intervienen de una manera efectiva; por esto es preciso creer que no sea siempre el cuerpo negro el que se caliente más en el equilibrio radiactivo, puesto que si él absorbe más que cualquier otro, también emite más que otro cualquiera.

Fabry ha calculado que la temperatura alcanzada en el vacío por un cuerpo negro expuesto a las radiaciones solares era de 127° C., mientras que un cuerpo de superficie metálica alcan-

zaba los 400° C. en las mismas condiciones. Esto es porque los metales reflejan perfectamente el infrarrojo medio y extremo, pero muy difícilmente las radiaciones de longitudes de onda más cortas, como las del Sol. El poder absorbente de tales cuerpos es, por consiguiente, muy notable por las radiaciones solares. Su temperatura se eleva mucho.

Se ve también que la temperatura de equilibrio de la barquilla de un globo estratosférico depende esencialmente de la naturaleza de su superficie. No se puede decir nada, en general, pero parece que se puede elegir entre amplios límites la temperatura que se desee por un juicioso estudio del barnizado de la barquilla.

Dejemos el globo y pasemos al avión. Ahora no podemos desligarnos de los fenómenos de conductibilidad, puesto que el avión, por su gran velocidad, pone en movimiento importantes masas de aire, y a pesar del enrarecimiento de éste se debe pensar que se pondrá en equilibrio conductivo con él. Se sabe, en efecto, que el termómetro honda, en pleno sol, se pone más rápidamente en equilibrio térmico con el aire circundante.

La temperatura reinante en la estratosfera (—55°) es la que tenderá a establecerse en la cabina si no hay fuente de calor en la misma, porque hay un factor muy importante: el aire de alimentación aspirado a —55° en la atmósfera sufre una elevada compresión (al menos cinco o seis veces) para establecer una densidad respirable, y esta compresión calentará considerablemente al aire de alimentación un número de grados variable con las capas donde tenga lugar y la importancia de éstas.

Refrescado por el aire ambiente, recalentado por el aire de alimentación, la cabina tomará una temperatura de equilibrio que es difícil de precisar sin conocer las dimensiones del aparato y las condiciones de los compresores. Además, es preciso tener en cuenta las calorías producidas por la compresión del aire de alimentación de los motores.

Se ve que la determinación de la temperatura que se establecerá a bordo es un problema complejo.

Evaporación de los líquidos.—Congelación.—Por la baja presión que reina a 15 kilómetros (90 mm. de Hg.), la evaporación de los líquidos es muy activa, por lo cual las reservas de esencia y aceite, la circulación del líquido refrigerante, deberán ser mantenidas a la presión atmosférica normal. Por otra parte, el líquido refrigerante, si no es por aire, deberá ser incon-

gelable. Ya en los citados vuelos de investigación de la T. W. A., volando sobre los 10.500 metros, comprobaron que la cuestión de la evaporación del combustible reviste proporciones desconocidas, puesto que las pérdidas por evaporación son una incógnita. Estas pérdidas son ineludibles en los carburantes que hoy se conocen para adaptación aérea, por lo que será preciso crear un combustible menos volátil.

Condiciones meteorológicas.—El avión, equipado de forma que salve todas las dificultades expuestas para volar a 15 kilómetros de altura, ¿qué ventajas encontrará desde el punto de vista meteorológico?

El primero y cierto será el de volar en una zona de excelente visibilidad, exenta de nubes.

Hasta aquí las ventajas. Las desventajas no son menos. La turbulencia, y, en suma, la incomodidad del vuelo no son menos que en la troposfera; más bien al contrario. Los vientos tampoco son menos violentos.

De suerte que si no se alcanzan velocidades superiores a las ordinarias (y hemos visto que la duda aerodinámica subsiste a este respecto) no se ve qué se ganará con volar a tales alturas para compensar las complicaciones técnicas que ellas imponen.

Protección meteorológica del vuelo estratosférico.—¿La ausencia de masas nubecosas hace innecesaria una protección meteorológica como la que precisan los vuelos ordinarios a alturas normales? Ciertamente, no. Las nubes no son más que límites visibles de las perturbaciones. Su ausencia, pues, no implica que dejen de existir en la estratosfera borrascas o temporales, y puesto que, como hemos dejado asentado, el interés principal del vuelo estratosférico parece ser la ganancia de velocidad, queda demostrado el interés del conocimiento de los vientos reinantes en la ruta.

Ahora plantearemos la cuestión siguiente: ¿La Meteorología es capaz de proteger informativamente, de una manera eficaz y continua a la aviación sobre el régimen de las corrientes estratosféricas? En el estado actual de la técnica, no.

Todo esto nos permite observar que el interés por la Meteorología no decae, como lo prueba el hecho de la notable ampliación del presupuesto para el Servicio Meteorológico inglés durante el pasado año. Podemos esperar que la ciencia meteorológica siga adelantándose a los progresos aeronáuticos en lo que a ella afecta, llegando a estar en condiciones de eficiencia cuando lo desconocido hoy sea realidad mañana.