



## Divulgación de problemas de la navegación aérea subestratosférica

Por el Teniente coronel MOYANO, Ingeniero aeronáutico.

La tendencia actual de los vuelos a alta cota, bien sean con finalidades guerreras o bien sean con los de transporte, imponen a la técnica aeronáutica y al arte de navegar complejos problemas a resolver, y que en definitiva pueden enmarcarse en los límites genéricos de la navegación aérea subestratosférica. La navegación aérea a las grandes altitudes implica ciertamente la resolución de toda una serie de problemas de orden fisiológico, mecánico, termodinámico, meteorológico, radioeléctrico y de navegación propiamente dicho; problemas todos que están íntimamente relacionados y cuya resolución, compleja y totalitaria, representa la posible utilización de las aeronaves en las zonas comúnmente conocidas como zonas de la calma atmosférica, en las que se pretende fundadamente conseguir mejoradas posibilidades de empleo de aviones militares y comerciales.

La navegación en estas zonas tiene como concreta finalidad: el aumento de la velocidad de crucero y del radio de acción para un mismo desarrollo de potencia del motor, el mejoramiento de la visibilidad perturbada en zonas inferiores por nubosidad y precipitaciones, la ausencia de perturbaciones atmosféricas que llevan consigo agitación atmosférica, formación de hielo, fenómenos eléctricos, etc.; y en resumen, la consecución de la navegación en una atmósfera límpida y serena en la que existe menor resistencia al avance de las aeronaves, y de calma, si bien relativa, puesto que respecto a este extremo es preciso tener en cuenta que en la subestratosfera existen, así como en las zonas inferiores, vientos de notable intensidad y aun turbulencia atmosférica.

Desde el punto de vista marcial, la navegación subestratosférica supone la eliminación del peligro de la defensa antiáerea de tierra, la ocultación sobre espesas masas de nubes, la llegada al objetivo en descenso sin que el rumor del sistema motopropulsor denuncie la presencia del avión y el logro de una posición de ataque óptima sobre agrupaciones aéreas enemigas, etc.

Exponentes de esta tendencia son los vuelos de carácter comerciales que ya se realizan en la zona comprendida entre 6.000 y 11.000 metros y la consecución

de techo para aviones militares de 12.000 metros, así como la de las actuales velocidades superiores a 700 kilómetros/hora, y el impulso que se pretende dar al sistema de la propulsión por reacción.

### CARACTERISTICAS DE LAS ZONAS DE VUELO SUBESTRATOSFERICAS

Para el somero examen de los problemas citados que afectan a la navegación subestratosférica es conveniente recordar también muy someramente las características de las zonas en que ha de desarrollarse.

En la atmósfera que rodea la Tierra existen, como es conocido, dos amplias zonas características:

1.<sup>a</sup> La tropoesfera, que es la zona en que la temperatura del aire decrece regularmente, aproximadamente a 0°65 cada 100 metros, teniendo su límite superior a 11.000 metros.

2.<sup>a</sup> La estratosfera, que teniendo por límite inferior los 11.000 metros, se caracteriza por la existencia de una temperatura constante a lo largo de la vertical; el límite superior de la estratosfera no está aún determinado, admitiéndose una elevación de la temperatura hacia los 50 kilómetros, que conduce a la existencia a los 100 kilómetros de altura de una temperatura de 100° C., aproximadamente.

La superficie que separa la estratosfera de la tropoesfera ha recibido el nombre de tropopausa. La altura media de la tropopausa crece del polo al ecuador; desde 9.000 metros en las regiones polares crece a 11.000 metros en nuestras latitudes, para elevarse hasta 17.000 en el ecuador. En la atmósfera normal se admite una altura de la tropopausa de 11.000 metros, para una temperatura de 57° C.

Suponiendo la atmósfera en equilibrio perfecto, los gases pesados que componen el aire, a medida que se gana altura, deben ceder progresivamente el sitio a los gases ligeros. Consecuentemente el contenido de ázoe debe aumentar, y el de oxígeno disminuir; los movimientos verticales de la atmósfera contribuyen no obstante a realizar un dosaje suficiente para conservar la composición del aire de las bajas a las altas capas.

El vapor de agua contenido en el aire, y que es transportado, dado que su origen es terrestre, por las corrientes ascendentes, disminuye rápidamente.

La rarefacción de la atmósfera (disminución del número de moléculas de aire por unidad de volumen, a medida que se gana altura, tiene por consecuencia el decrecimiento de la presión atmosférica con la altura, el cual se calcula teóricamente según fórmulas apropiadas.

El decrecimiento de la presión atmosférica con la altura tiene por consecuencia una disminución de la densidad del aire, y consecuentemente una rarefacción del oxígeno, que hace las combustiones más difíciles a las altas alturas. Por esta causa se presentan los trastornos fisiológicos respiratorios y decrecimiento de la potencia de los motores con la altura.

La troposfera contiene las tres cuartas partes del aire atmosférico y casi todo el vapor de agua, siendo el lugar donde se desarrollan todos los hidrometeoros (nubes, lluvias, nieves, hielos).

En nuestras latitudes es raro encontrar nubes por encima de los 10.000 metros de altura; por otra parte, en los elevados niveles atmosféricos, en los cuales la temperatura permanece inferior a 0°, no se encuentran sino algunas nubes formadas por cristales de hielo. Entre el suelo y los 10.000 metros es donde se forman, por condensación de la masa de aire húmeda, las diversas clases de nubes, que producen a su vez la diferencia de transparencia o visibilidad de la atmósfera. La familia de nubes superiores de cualquiera de las formas que pueden formarla, se extiende desde los 6.000 a los 10.000 metros y aun a niveles superiores, siendo nubes del género de los cirrus-cúmulos y cirrus-stratus.

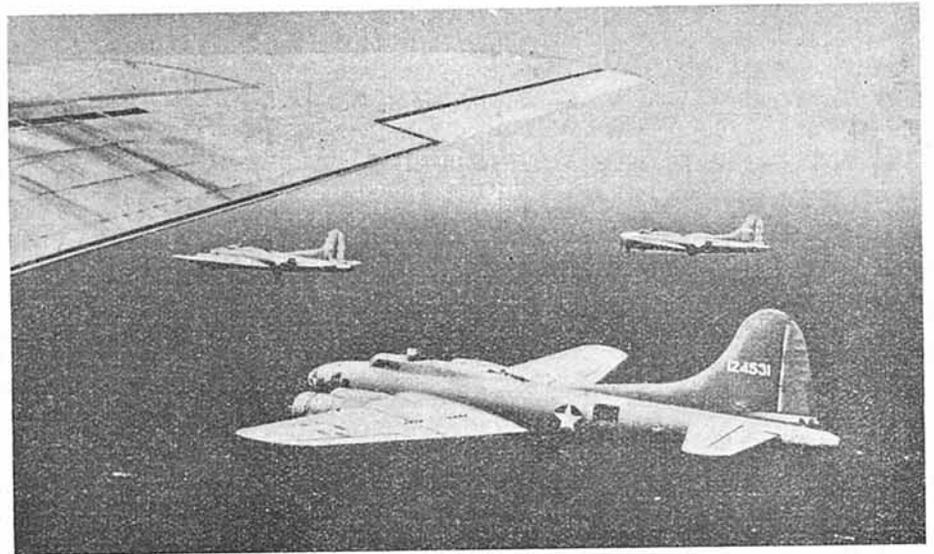
En las zonas bajas de la estratosfera se presentan los fenómenos de niebla y bruma que afectan a la visibilidad.

Estas son a grandes rasgos las características de las zonas navegables de la alta atmósfera desde el punto de vista meteorológico, y que pueden resumirse en los siguientes: Con el aumento de altura se verifica una progresiva disminución de la presión atmosférica, y por tanto, de la presión de oxígeno, con notable consecuencia, como ya se ha mencionado, sobre todos los fenómenos de combustión, entre los cuales se encuentra el de la vida física humana. En las capas atmosféricas, entre los límites de altura considerados, el aire se hace más puro, se reduce el vapor de agua y desaparece el polvillo atmosférico, que tiene tanta importancia sobre los fenómenos de condensación y precipitación, y por tanto, en dichas capas cesan las perturbaciones meteorológicas, que en algunas estaciones se presentan con frecuencia en las capas inferiores.

Respecto a la formación de nubes, las continuas observaciones hechas demuestran que si bien algunas veces se encuentran determinados tipos de ellas has-

ta las alturas de 8.000 y 9.000 metros, en las zonas de navegación subestratosférica se vuela con atmósfera limpia, habiéndose podido asimismo comprobar que más del 95 por 100 de las malas condiciones atmosféricas pueden ser evitadas volando entre 6.000 y 7.000 metros; en tanto que la mayoría de las más graves perturbaciones se verifican por debajo de los 3.500 metros; y por otra parte, a tales alturas faltan casi en absoluto las condiciones necesarias para la formación de hielo.

Respecto a la formación de hielo, que obstaculiza los vuelos normales y exige dotar a los aviones de dispositivos especiales para contrarrestar su efecto, debe manifestarse que la mejor defensa contra sus efectos que puede poseer un avión reside en sus características de vuelo. Con suficiente capacidad ascensional, elevada finura aerodinámica y buena estabilidad, un avión puede resistir a pesantes y repentinas formaciones de hielo, siendo así porque tales características permiten que sean puestos en acción los medios de defensa—térmicos, mecánicos o químicos—antes de que el avión pierda altura considerablemente o tome posiciones peligrosas. Realmente, aunque se han conseguido notables progresos con la puesta en práctica de estos me-



Formación de "Fortalezas" volando en las altas capas de la troposfera.

dios de protección, unos u otros más o menos adecuados, según las circunstancias y las condiciones de formación de hielo, la solución integral deseable debe ser la que asegure la protección del avión en todas las condiciones meteorológicas que puedan presentarse y respecto a todas las especies de hielo que puedan formarse. Ahora bien: según confirman los resultados de las experiencias efectuadas, toda solución de tipo totalitario puede considerarse que está hoy día fuera de las posibilidades de la Técnica, por lo que la mejor protección a dar a una aeronave contra el peligro del hielo, especialmente en los largos vuelos, consiste en conducir la navegación en las zonas subestratosféricas, donde el cielo está limpio de nubes.

Se deduce, por tanto, y se confirma lo expuesto, que la ventaja de la navegación subestratosférica con-

siste en un incremento sensible a igualdad de potencia de la velocidad de crucero debido a la rarefacción del aire y en la posibilidad de evitar completamente las perturbaciones atmosféricas y en particular las que constituyen hoy el peligro más grave para la navegación aérea: la formación de hielo.

Desde el punto de vista magnético, la disminución que experimenta con la altura en la zona considerada, la fuerza directriz que orienta las agujas magnéticas, elemento básico de la navegación, puede considerarse es tan pequeña que aquélla permanece constante en las mencionadas altas zonas navegables. Ahora bien: el funcionamiento de los instrumentos de navegación y vuelo, bajo las condiciones atmosféricas citadas y las circunstancias hechas presentes, plantea problemas que es preciso resolver adecuadamente.

Las comunicaciones radioeléctricas pueden considerarse asimismo invariables entre los límites que enmarcan aquéllas.

Por el contrario, la visibilidad de la superficie terrestre será muy frecuentemente nula en los niveles de vuelo subestratosférico, en tanto que la visibilidad de los astros que brillan en la bóveda celeste sería excelente, si no bien deberán ser observados a través de las cristalerías y ventanas de la cabina estanca. Por tanto, la navegación de alta cota presupone un empleo primordial de los procedimientos de la navegación de estima, complementada con la navegación radio y siendo de posible utilización la navegación astronómica.

#### FUNCIONAMIENTO DEL AVION Y DE LOS ORGANISMOS HUMANOS DE LA ZONA SUBESTRATOSFERICA

Bajo las características hechas resaltar, de las zonas subestratosféricas que pueden concretarse en referencia a los problemas de navegación aérea a resolver, en bajas temperaturas inferiores a cero grados, rarefacción de la atmósfera y reducidas presiones atmosféricas y la existencia en general de espesas capas de nubes a niveles inferiores, deben funcionar los organismos humanos que dotan las aeronaves y los sistemas propulsores y se debe conducir la navegación propiamente dicha.

Antes de entrar en el examen sucinto de los problemas que la Técnica aeronáutica impone al vuelo en las zonas subestratosféricas, parece conveniente recordar sintéticamente los que pueden denominarse efectos fisiológicos debidos a la vida en las alturas, que corresponden a aquéllas, así como los efectos de la rarefacción del aire sobre el funcionamiento de los actuales motores de combustión. Cuanto se cita en esta reseña sintética de los mencionados efectos es fruto, no solamente del estudio experimental, sino también comprobado por la práctica del vuelo, deduciéndose algunas consecuencias de las afirmaciones aparecidas sobre los vuelos de Templinson efectuados en los Estados Unidos.

#### EFFECTOS FISIOLÓGICOS

Las condiciones características de las capas elevadas provocan efectos fisiológicos de diversa naturaleza. Por una parte, la disminución de temperatura puede dar lugar al congelamiento de la cara y de las extremidades, a catarros de las vías respiratorias y a

daño en la dentadura. Por otra, la disminución de la presión atmosférica provoca una dilatación de los gases contenidos en las cavidades del cuerpo. Es conocido que si a la presión normal, o sea al nivel del mar, un gas ocupa un cierto volumen, a 5.500 metros ocupará un volumen doble, y a 10.000 metros, un volumen cuádruple; consecuencia de ello es la presencia de fenómenos fisiológicos importantes, que dificultan el funcionamiento del organismo.

A causa de la rarefacción del aire, resulta reducido, como se ha manifestado, el número absoluto de moléculas de oxígeno contenidas en la unidad de volumen de aire, en el cual entra siempre en la proporción del 1 por 100, sea cual sea la presión, y la consecuencia de esta deficiencia comienza a sentirse aun antes de los 4.000 metros.

El mantenimiento de la capacidad humana de vida y energía requiere la aportación de sustancias alimenticias y de la cantidad de oxígeno necesario para quemarlas (aproximadamente, 450 litros al día, o sea tres centímetros cúbicos al minuto), siendo la sangre el órgano de transporte del oxígeno.

Cuando con el aumento de altura la presión ambiente se reduce, la cantidad de oxígeno aspirado no es la suficiente para saturar la sangre y no tardan en hacerse sentir los efectos de la escasez de este elemento vital.

Hasta los 3.000 metros, para restablecer el abastecimiento regular de oxígeno, es, naturalmente, suficiente una respiración profunda y ligeramente acelerada; pero entre los 3.000 y 4.000 metros, la falta de oxígeno comienza a manifestarse con perturbaciones de las funciones principales: debilitamiento de la vista, del oído, de la dificultad de concentrarse y de pensar, y después viene la lentitud de los movimientos, un debilitamiento general, somnolencia, depresión del ánimo y aun una especie de enajenación mental.

Estos efectos se representan siempre más intensos y graves con el aumento de altura, hasta que a los 7.000 u 8.000 metros la capacidad de funcionar el organismo llega a cero y se presentan los sobresaltos convulsivos de la cara y de las manos, siguiendo la pérdida de conciencia, la parálisis y la muerte.

Es fuera de duda que todo esto es consecuencia de la falta de oxígeno, porque los fenómenos no se manifiestan o desaparecen en pocos minutos con la inhalación de este gas.

La disminución de la presión exterior provoca también una excesiva eliminación del ácido carbónico, que tiene una importante función reguladora en el mecanismo de la respiración, por lo cual a un período de respiración acelerada, por medio de la que el organismo intenta compensar la escasez de oxígeno, sigue una respiración periódicamente relanzada, la cual constituye de por sí un peligro grave.

La soportación de los efectos fisiológicos de la permanencia en altas cotas es diferente en los diversos individuos y depende de la edad y del sexo. Obran de modo dañoso la falta de sueño, el uso exagerado del alcohol y la nicotina, los alimentos no aptos, estado enfermizo, etc.

La experiencia enseña que con el regular suminis-



*Inhalador de oxígeno para las altas capas de la troposfera.*

tro de oxígeno se logra que la perturbación de las funciones, en vez de iniciarse a los 4.000 metros, no se manifiestan más que a partir de los 9.000 metros, siempre que la permanencia en estos altos niveles atmosféricos no sea demasiado prolongada, ya que en este caso el organismo humano se resiente también de los efectos de la presión atmosférica demasiado reducida. A nivel superior a los 10.000 metros, la sola respiración del oxígeno no es suficiente más que por brevísimo tiempo y es absolutamente necesario prever un aumento de la presión exterior. Se ha determinado que la respiración de oxígeno puro, aunque se efectúe durante varias horas, no tiene consecuencias dañosas.

La interrupción de las inhalaciones de oxígeno entre los 4.000 metros y 7.000 metros no provoca inmediatamente consecuencias peligrosas, por lo cual es posible proceder a la reparación eventual de la máscara o del dispositivo de respiración, o bien descender a una altura de seguridad; pero si la interrupción se verifica a mayor altura, se tiene en un brevísimo intervalo de tiempo, que se puede evaluar en segundos, el completo colapso y la muerte.

Para el suministro de oxígeno a las alturas de vuelo actuales, se utiliza el llamado inhalador de oxígeno, y en los vuelos de prueba de T. se ha podido comprobar que, efectivamente, entre los 9.000 y los 10.500 metros, el dispositivo es suficiente para mantener la función vital, pero a condición de que se permanezca completamente inmóvil. Ahora bien: en estas condiciones, la necesidad de oxígeno es tan intensa que una actividad moderada o una ligera disminución de la llegada de gas es suficiente para crear las condiciones de síncope. La falta absoluta de oxígeno a alturas superiores a 9.000 metros produce en el término de medio minuto a un minuto una parálisis casi completa de las funciones físicas y mentales, y lleva al cabo de minuto y medio a la total inconsciencia; una falta moderada de oxígeno, cuando es prolongada, provoca un relajamiento y una confusión en las facultades mentales, que dura durante unos treinta segundos después de haber cesado la insuficiencia de oxígeno. Dado que en estas condiciones son precisamente en aquellas en las que el piloto termina por encontrarse después de un vuelo prolongado a más de 9.000 metros, se deduce un peli-

gro grave, puesto que al fin del vuelo el piloto precisa de toda su presencia de espíritu para emprender el descenso sin visibilidad a través de las nubes que debe encontrar antes de alcanzar el aerodromo de destino. A esta deficiencia mental vienen a añadirse, por otra parte, disturbios auditivos que hacen particularmente difícil la escucha y la interpretación de las señales de los radiofaros y de los sistemas de conducción y guía radioeléctrica.

No solamente desde el punto de vista fisiológico la falta de oxígeno es el factor a considerar en el vuelo en las zonas subestratosféricas, sino también las consecuencias sobre el organismo, de la reducida presión atmosférica a que ha de estar sometida, y por cuanto se refiere a la dilatación peligrosa de los gases contenidos en el organismo, así como por cuanto al peligro que la evaporación del agua contenida en el cuerpo humano representa; este agua, que es mantenida en el organismo a temperatura de 37°, entra en evaporación al ser sometido el cuerpo a una presión correspondiente a una altura de 19.000 metros, pero bastante antes de llegar a dicha presión, la evaporación del cuerpo se vuelve notablemente activa.

Por cuanto sucintamente se ha expuesto referente a la resistencia del ser humano a los efectos de las alturas consideradas, se deduce que no es suficiente el puro suministro de oxígeno apropiado, sino que es preciso llegar a la solución de acondicionar el avión de modo tal de permitir normalmente la vida de las dotaciones, lo cual no puede conseguirse hasta ahora factiblemente sino con cabina estanca, alicentada con aire acondicionado a determinada presión y con o sin suministro de oxígeno.

#### **EFFECTOS DE LA RARIFICACION DEL AIRE SOBRE LOS ACTUALES MOTORES DE COMBUSTION**

Como es conocido, la potencia de un motor normal varía, de modo aproximado, proporcionalmente a la presión del aire aspirado; o sea, que a 5.500 metros un motor normal desarrolla una potencia que es aproximadamente la mitad de la desarrollada al nivel del mar, y a 10.000 metros la potencia se reducirá a un cuarto de aquella. Esta disminución de potencia tiene por causa que cuanto más rarificado es el aire al nivel atmosférico del motor, tanto menor es el peso de mezcla carburada que se introduce en los cilindros.

El sistema generalmente adoptado para evitar esta pérdida de potencia, es el mantener por medio de un adecuado compresor del aire o de la mezcla carburada el valor de la presión normal de alimentación hasta una altura determinada, recurriendo a determinados artificios para evitar el excesivo recalentamiento de la mezcla sometida a precompresión, efecto que puede provocar fácilmente fenómenos de detonación. Mediante la utilización de combustible de alto número de octano y el empleo de turbocompresores, es posible elevar la relación de sobrealimentación del motor y obtener que la potencia de crucero sea mantenida hasta altos niveles atmosféricos dentro de los límites que consideramos.

Ahora bien: a causa de la disminución de la temperatura del aire y el aumento de la velocidad de la

aeronave al navegar en las zonas subestratosféricas, el problema del enfriamiento debido del motor se presenta como uno de los más arduos, puesto que la capacidad de refrigeración del aire rarificado es muy reducida, siendo a 10.000 metros aproximadamente el 60 por 100 de la relativa altura cero.

Consecuente con este fenómeno, el enfriamiento directo de aire debe muy probablemente desecharse, dada la imposibilidad de aumentar la superficie radiante, y deberá recurrirse al enfriamiento por medio de líquido (agua o glicol) en los motores utilizados para la navegación de alta cota.

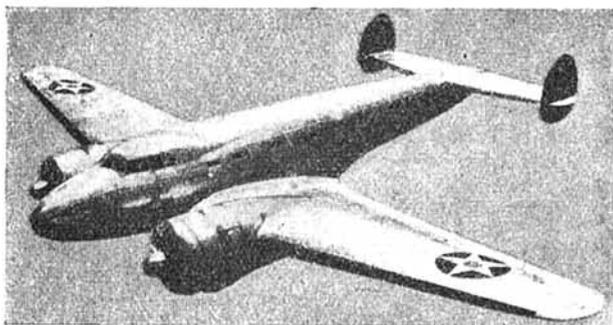
Por otra parte, el encendido requiere constitución y dispositivos especiales que aseguren el aislamiento de los elementos bajo tensión de las magnetos y de las bujías, a consecuencia de las bajas temperaturas y de las presiones muy reducidas, consiguiéndolo, bien sea con el aumento de la distancia entre los elementos, o bien con una adecuada ventilación.

Consecuente con la exposición sucinta que acaba de hacerse del efecto de las alturas subestratosféricas sobre organismos y órganos motores, los problemas a resolver para hacer posible la navegación subestratosférica pueden agruparse en los tres grandes grupos siguientes:

- a) Problemas de protección del organismo humano a los efectos de las grandes alturas, y en consecuencia, el de las instalaciones necesarias y convenientes.
- b) Problemas de orden termodinámico y de funcionamiento del sistema motopropulsor, y en consecuencia, de los sistemas de adaptación pertinentes.
- c) Problemas de navegación propiamente dicha en sus procedimientos y en sus medios materiales.

**PROBLEMAS DE CONSTRUCCION Y ACONDICIONAMIENTO DE LA CABINA ESTANCA DE UN AVION SUBESTRATOSFERICO**

Los vuelos de Tomlinson mencionados, así como otros realizados bajo los auspicios de las diversas Aviaciones, han hecho patente la necesidad de abordar la resolución de diversos problemas, que en lo que se refiere a la cabina estanca—que, como se acaba de manifestar, es absolutamente necesario para los vuelos normales subestratosféricos—se concretan en los referentes a la concepción estructural y construcción de la cabina, así como a la alimentación de ésta para mante-



*"Lockheed" subestratosférico.*

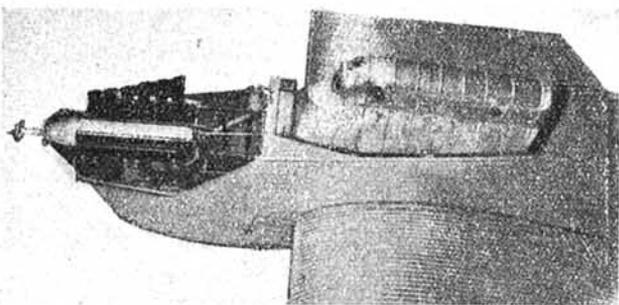
ner en ella una atmósfera que permita el funcionamiento regular de los organismos. Sobre el avión "Lockheed", en el que se realizaron por aquél los metódicos experimentos, se tuvieron en cuenta los efectos de las bajas presiones exteriores y de las bajas temperaturas, así como el desplazamiento a elevadas velocidades. Consecuente con ello, se adoptó en la cabina una forma derivada de la ovoide limitada por dos extremidades semiesféricas; forma la más simple y al parecer la más indicada, bajo la cual el metal trabaja principalmente a tracción. Para simplificar la construcción se adoptó, no obstante, la sustitución de la semiesfera posterior por un cono, ya que los esfuerzos sobre esta sección no habían de ser mucho mayores y tenía la ventaja de ocupar menos espacio. El problema de la dilatación de los materiales que componen la cabina sobre un avión de las dimensiones de que se trata fué considerado prácticamente despreciable, puesto que la contracción debida al descenso de las temperaturas a las alturas de vuelo subestratosférico está realmente y en gran parte compensada por la dilatación debida al empuje de la presión exterior, superior a la del aire exterior en que se desplaza la aeronave. De todos modos, se previó hacer las uniones con determinada elasticidad, a fin de que las pequeñas deformaciones debidas a las construcciones y dilataciones no pudieran producir tensiones demasiado elevadas en la armadura y revestimiento de la cabina. La estructura de la cabina fué realizada con largueros y costillas convenientemente dispuestos para que quedara limitada la extensión de las grietas o rasgaduras que debido al efecto de la presión exterior pudieran producirse, si bien por las instalaciones previstas no se considera probable pudiera presentarse tal contingencia. En la construcción se tuvo también en cuenta la disminución de resistencia de los metales a bajas temperaturas.

La construcción de la cabina se basaba en la consideración de que no debía resistir a una sobrepresión exterior; pero para el caso de que ello pudiera ocurrir por determinadas circunstancias, fué preciso proveerla de un dispositivo de seguridad que asegurara automáticamente la comunicación entre el interior y el exterior en caso de que la presión del aire atmosférico que rodea el avión sobrepase a la interior de la cabina.

Otros problemas que han sido necesarios resolver, y lo fueron satisfactoriamente, han sido los de la estan-



*Compresor de altura de un caza ruso.*



Disposición del motor y la cabina de altura en el "Ju-49".

queidad de las uniones entre las láminas metálicas que forman la envoltura y la de las ventanas o cristales de la cabina, así como las de los pasos de las canalizaciones y de los órganos o elementos de transmisión de mandos y movimientos.

Por cuanto respecta a los cristales de visión exterior, la solución adoptada fueron láminas de vidrio de suficiente espesor, en forma de rectángulo, pero con el lado mayor puesto horizontalmente, tomando la precaución de que la presión de cada vidrio sobre la junta de caucho interpuesta entre él y su marco fuera moderada para evitar que las deformaciones de la cabina pudieran introducir en el vidrio tensiones capaces de producir su rotura. Ahora bien: es preciso tener en cuenta que la humedad de la cabina puede dar lugar a la formación de hielo sobre el lado interior de las cristaledas, por lo que es preciso en las cabinas estancas de los aviones subestratosféricos proceder al calentamiento de los cristales de las ventanas. Como procedimiento práctico de desempañar los cristales se señala el simple de los limpiaparabrisas utilizados a bordo de los automóviles.

Para impedir la formación de neblina sobre las paredes exteriores, se puede recurrir a establecer una circulación de aire caliente entre dos vidrios paralelos, ya que los vidrios necesarios para las ventanas, y debido a su resistencia a la presión interior, son demasiado gruesos para ser calentados por el aire interior que incide sobre ellos.

Estos son en líneas generales los problemas que afectan a la construcción de la cabina estanca. Respecto a los que afectan a su acondicionamiento, y además de lo enunciado respecto a la necesidad de suministro de oxígeno al tratar de los efectos fisiológicos, es preciso considerar tal como se reseña en los resultados de los vuelos de Tomlinson los problemas que imponen la presencia del CO y del CO<sub>2</sub> en la atmósfera de la cabina. Respecto a la presencia del primero en la cabina estanca, es preciso considerar que la presen-



Cabina de altura para dos hombres en el "Ju-49".

cia de este gas a una determinada cantidad, que a la presión normal no presenta peligro alguno, puede tener graves consecuencias cuando la presión alcanza valores notablemente inferiores, y este efecto da lugar a que sea preciso evitar en absoluto la presencia de trazas de óxido de carbono en la cabina. Por cuanto afecta a la presencia de ácido carbónico, debe tenerse en cuenta que al aumentar, aunque no sea más que ligeramente, su proporción en el contenido de los pulmones, se tiene como consecuencia que la actividad del movimiento respiratorio se encuentra rápidamente acrecentada; y que, por el contrario, si disminuye, el movimiento respiratorio se relantiza. Consecuente con ello, se obtiene que aumentando la proporción de ácido carbónico en el aire respirado, se acelerará el movimiento respiratorio y se compensará la insuficiencia de oxígeno a que se ha hecho mención. Teniendo esto en cuenta, podrá llegarse a un valor de la presión interior en la cabina, menor que la que sin esta consideración sería preciso mantener en ella.

La cantidad de aire necesario a mantener en la cabina para su ventilación, si bien no está determinada con precisión, parece está comprendida entre 0,25 a 0,5 metros cuadrados de aire, medidos a la presión de 760 milímetros de mercurio al minuto y por cada ser humano terrado en ella. Este aire es preciso que sea calentado y humedecido, puesto que se ha llegado a determinar que a alturas superiores a los 600 metros la humedad relativa en el interior de la cabina es inferior al 15 por 100, y más frecuentemente el 10 por 100, lo cual es realmente demasiado escaso para el bienestar humano en navegaciones de largo recorrido.

Respecto a la presión a mantener, parece suficiente conservar la presión correspondiente a una altura de 3.000 metros cuando el avión vuela a un nivel de 7.500, lo cual representa una diferencia de presiones entre el interior y el exterior de 350 gramos por centímetro cuadrado. Realmente, la tendencia respecto a la presión a mantener debe ser la de conservar la presión más cercana posible al nivel del mar.

Consecuente con cuanto acaba de manifestarse respecto a la existencia real de problemas que se refieren al acondicionamiento de la cabina, se deduce la necesidad de dotar al avión de dispositivos de alimentación de aire de la cabina y de calentamiento y humidificación de este aire, así como los de regulación de la presión interior, y de válvula de seguridad para prever el caso de una excesiva sobrepresión exterior. Estos dispositivos implican la necesidad de dotar a la aeronave de los correspondientes compresores, que pueden ser movidos por los motores, así como del material necesario de tuberías, válvulas, cápsulas manométricas, etcétera. Es preciso también proveer a la cabina de una instalación de alimentación de socorro, constituida, por ejemplo, por bombonas de oxígeno comprimido, que deben suministrar éste a la cabina cuando la presión desciende del mínimo indispensable. Todo ello lleva, según cálculos efectuados, a una carga de aproximadamente 500 kilos sobre una aeronave de peso total de diez toneladas, o sea de un 5 por 100 del peso total.

Es conveniente hacer notar que de las experiencias efectuadas se ha obtenido la conclusión de que el mantenimiento de una determinada presión en la cabina

reduce notablemente los ruidos o ruidos provenientes del sistema motopropulsor.

#### PROBLEMAS CONCERNIENTES AL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR

Dado el estado de la Técnica motorística actual, el restablecimiento de la potencia con motores provistos de compresores mecánicos, o sea de turbinas accionadas directamente por el motor, se encuentra prácticamente en límites comprendidos entre los 5.000 y 6.000 metros. Para los vuelos en las zonas subestratosféricas, de 7.000 a 11.000 metros, es, por tanto, necesario recurrir al empleo de turbocompresores, que permitirán el restablecimiento de la potencia a superiores alturas que los compresores mecánicos. Efectivamente, en los vuelos experimentales a que se hace referencia, el motor del avión L. fué provisto del correspondiente turbocompresor.

La utilización del motor con este órgano, así como las vicisitudes del ascenso y el descenso, desde las capas subestratosféricas a los niveles inferiores, así como los problemas de alimentación de aquél y del encendido y de la carburación, son de alto interés al estudiar la posibilidad de la práctica de la navegación subestratosférica; y las soluciones y las consecuencias deducidas de los citados vuelos experimentales ofrecen, por tanto, valiosa enseñanza. En la instalación del L. la regulación de la presión de admisión se efectuaba accionando, mediante el correspondiente mecanismo regulador, una válvula situada sobre la tubería de escape o descarga del motor.

Al cerrar progresivamente dicha válvula se conseguía que pasara a través de la turbina una cantidad mayor de gas, con lo cual se aumentaba la velocidad de la turbina, regulándose la presión sobre el carburador por medio de un dispositivo análogo al limitador de admisión normal, montado sobre los actuales motores con compresores mecánicos.

La relación de los vuelos experimentales de T. indica que éste, por encima de los 4.000 metros, conducía la marcha del motor, dejando completamente abierta la manecilla de gases, y regulando la potencia mediante la acción sobre el regulador de admisión de la turbina; para ello el piloto disponía de un mando sobre un muelle, unido a la cápsula barométrica, cuyo funcionamiento permitía hacer variar la presión de admisión. Explica la citada relación, que la conveniencia de este sistema de conducción del motor se basa en la necesidad de asegurar un permanente barrido de los gases quemados, dada la peculiar distribución del motor utilizado, por la que se asegura un eficaz refrigeramiento suplementario sobre pistón y culata, que consiente elevadas relaciones de compresión, y consiguiéndose el alimento del motor, sin calentamiento normal y sin la producción de fenómenos de detonación. Pero para conseguir el barrido eficaz a que se hace referencia es preciso que en la tubería de admisión exista una presión superior a la que existe en la tubería de escape. En el funcionamiento del motor de altura con turbocompresor es preciso tener en cuenta que el cierre de la válvula indicado—y que como se ha dicho tiene el efecto de aumentar la contrapresión en el escape—tiene asimismo la consecuencia de poder perturbar la

dispersión de los gases quemados; ahora bien, como esta dispersión es necesario mantenerla, es preciso: por una parte, reducir al mínimo la caída de presión entre el compresor y la válvula de admisión, para lo cual es a su vez necesario dejar la manecilla de mando de admisión completamente abierta; por otra parte, es necesario reducir lo más posible la contrapresión en el escape, y para ello es preciso, a su vez, no cerrar la válvula sino estrictamente lo necesario para producir la presión de admisión deseada.

Esta explicación permite comprender la razón por la cual el piloto del avión L., a las grandes alturas, conducía el funcionamiento del motor dejando la admisión abierta y regulando la potencia mediante el dispositivo regulador de marcha de la turbina. Este sistema permitía hacer variar la presión de admisión entre los 500 y 760 mm. de presión de admisión.

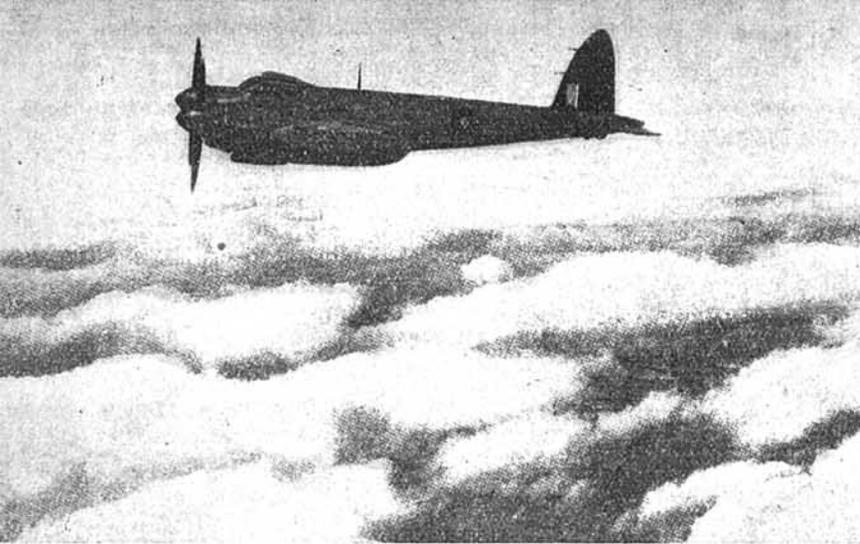
Con este sistema de conducción de la marcha del motor, para el ascenso hasta la altura de vuelo subestratosférico, debe procederse del siguiente modo:

Al despegue se abre totalmente la válvula citada y se la deja en tal posición hasta la altura de restablecimiento de la potencia, con el compresor accionado mecánicamente, y para mantener durante el ascenso a esta altura el valor de la potencia conveniente para la subida, se debe abrir progresivamente la manecilla de admisión de gases. Una vez llegado al nivel al cual es permisible que el motor funcione con plena admisión, es decir, a la altura normal, debe regularse el funcionamiento del motor según las indicaciones del analizador de los gases de escape; a continuación se continúa el ascenso, manteniéndose la potencia de subida constante por medio del regulador de la turbina, y una vez alcanzada la altura de crucero subestratosférico, se hará uso de este regulador para reducir la potencia al régimen de crucero; para este régimen se regula finalmente la mezcla, no siendo ya preciso tocar para nada la manecilla de mando de gases del motor mientras se navegue a altura constante.

Para el descenso, la experiencia de los tan mencionados vuelos hizo patente lo siguiente: Si al descender desde 9.000 metros hasta el nivel del suelo se cierra completamente la admisión a partir de la altura de vuelo subestratosférico, se encuentran determinadas dificultades para lograr reaccelerar el motor en caso necesario. La causa de esta dificultad es la siguiente: hasta que los gases de escape sean insuficientes



*Controlando los efectos psicofisiológicos en la cabina de altura.*



*Nuevo "Mosquito" subestratosférico.*

para hacer que el turbocompresor mantenga su velocidad de régimen, el carburador funcionará con una mezcla demasiado rica; si la admisión continúa cerrada por mucho tiempo y la velocidad del turbocompresor cae hasta un valor demasiado bajo, será preciso que transcurran algunos minutos antes de que al pretender re-acelerar llegue a su velocidad normal. Prácticamente se ha determinado que en la realidad el motor no reacciona hasta que se ha descendido a una altura de 6.000; para evitar el inconveniente producido por esta dificultad en el reacceleramiento del motor, es preciso mantener durante el descenso la potencia del motor a un grado suficiente, a fin de que el régimen de la turbina no descienda considerablemente.

Por cuanto se refiere a la alimentación del motor, fué preciso en los citados vuelos utilizar un apropiado sistema de alimentación, cuyas peculiaridades se concretan: en la posición de la bomba de carga en relación a los depósitos y en el diámetro de las tuberías que ponen en comunicación el depósito con la bomba, con objeto de evitar la formación de burbujas de vapor en ellas y cuya existencia puede provocar la parada del motor, y finalmente, en la dotación en la alimentación de una bomba autorreguladora. Los hechos de los vuelos experimentales demostraron lo siguiente, referente a los problemas de alimentación: al despegue, la presión de la gasolina era de 1.800 gramos; a 6.500 metros descendió a 700 gramos, funcionando el motor a plena potencia; la puesta en presión de los depósitos de ala la hizo ascender hasta 1.100 gramos, manteniéndose así hasta los 10.500 metros, y una vez que el motor funcionó al régimen de crucero, la presión de bencina subió a dos kilogramos. Suprimiendo la presión en los depósitos, la presión de gasolina descendió a 1.100 gramos. La conveniencia de la puesta bajo presión de los depósitos se encontró, por otra parte, justificada para evitar las pérdidas debidas a la evaporación, presumible a las grandes alturas, no obstante el descenso de temperatura.

Respecto a los sistemas de encendido, el problema se subdivide en el de las bujías y en el de las magnetos. La práctica ha determinado que a alturas superiores a 7.500 metros el funcionamiento de determinadas bujías se hacía irregular, especialmente en el funcionamiento a plena potencia del motor; no obstante, al reducirse éste a su régimen de crucero, las bujías funcionaron satisfactoriamente, sacándose la consecuencia de que la calidad de las bujías para los vuelos

subestratosféricos debe ser tenida especialmente en cuenta.

Respecto al problema de las magnetos, se señaló la avería de encontrarse en vuelo a 11.000 metros una magneto completamente inerte; avería causada por la existencia de un arco producido entre la masa y el circuito de alta tensión a la salida de la magneto, que produjo la quemadura del aislante.

Es preciso tener en cuenta también que en el descenso de grandes alturas con la admisión completamente cerrada se encontraron determinados indicios de formación de hielo, debido, sin duda, al funcionamiento a bajo régimen del turbocompresor. En otros vuelos, si bien no se encontraron estos indicios, sí pudo determinarse que la temperatura del carburador descendió notablemente por debajo de cero grados, tanto en el ascenso como en el vuelo horizontal, todo lo cual indicó la conveniencia de disponer especialmente el radiador, situado entre el compresor y el carburador, de tal manera que a voluntad del piloto fuera posible aumentar la temperatura hasta 20° C.

Respecto a otros problemas de funcionamiento del motor, los vuelos experimentales subestratosféricos de T. demostraron la necesidad de mejorar los radiadores situados entre el compresor y el carburador, dadas las diversas averías producidas, tales como defectos de impermeabilidad y agrietamiento, así como por la dificultad de obtener un suficiente enfriamiento a todas las circunstancias, sin excesivas pérdidas de carga; así como se patentizó la necesidad de la protección de las conducciones de aceite contra la influencia de las bajas temperaturas.

#### PROBLEMAS CONCERNIENTES A LA NAVEGACION PROPIAMENTE DICHA

Respecto a estos problemas, puede efectuarse, como en el apartado anterior, la subdivisión del problema de los procedimientos y del problema de los medios materiales. Permanecen con todo su valor en la navegación aérea subestratosférica y fundamentalmente los procedimientos clásicos de la navegación de estima, así como los de la navegación radio, tanto en lo que se refiere a la navegación conducida por las referencias obtenidas por marcaciones radio como en lo que se refiere a la navegación radioguiada. Sigue a continuación en valor de aplicación la navegación astronómica, realizada mediante las observaciones de los astros y la obtención consecuente de rectas de altura en sus diversas consideraciones de rectas de alcance, de deriva, de recalada, líneas de situación, etc.; y si bien la dificultad de observación de los astros desde el interior de la cabina cerrada y a través de los gruesos cristales limitará indudablemente las posibilidades de observación de los astros, la estabilidad de la atmósfera favorecerá la dicha observación, pudiendo obtenerse en determinados casos rápidamente apropiadas referencias.

La aplicación del vuelo instrumental, complemento de la navegación de estima, adquiere en estos vuelos subestratosféricos indudable valor, y su necesidad fué hecha patente en los mencionados vuelos experimen-

tales. Merece significado relieve asimismo en los vuelos a las grandes alturas la aplicación de lo que puede denominarse mecánica del vuelo aplicada a la navegación, conducente a obtener el óptimo rendimiento del avión y del sistema motopropulsor y de llevar a cabo la navegación bajo un plan técnicamente estudiado.

En lo que puede denominarse navegación meteorológica, se encuentra su aplicación principal en el vuelo en ascenso y descenso a través de las zonas atmosféricas inferiores a los niveles de vuelo subestratosférico e incluso en éstos, dada la existencia posible de vientos fuertes; siendo preciso considerar dentro de los límites de tal clase de vuelos las alturas favorables para la navegación.

Como ya se manifestó anteriormente, la imposibilidad en general de observación de las referencias terrestres impide la determinación de la velocidad efectiva y de la deriva, así como el reconocimiento del terreno, por lo cual todas estas referencias de la navegación observada deben ser sustituidas por las de la navegación radio, la cual, en el fondo, no significa sino la ejecución de aquélla con referencias obtenidas radioeléctricamente.

Respecto al problema de los medios materiales, es preciso tener en cuenta que todos aquellos instrumentos giroscópicos que dan referencias de estabilidad y de maniobra y que en la correspondiente instalación pudieran ser accionados por bomba de depresión, se harán inadecuados para el vuelo a grandes alturas, ya que las citadas bombas no suministrarán la suficiente diferencia de presión para imprimir a las turbinas giroscópicas la necesaria velocidad de rotación. En consecuencia, todos los instrumentos que en aviones normales van accionados por bombas de depresión, deben ser sustituidos por bombas accionadas por el motor.

Aquellos instrumentos de medida de movimientos cuyas tomas de presión son elemento básico de su funcionamiento, es preciso que éstos sean situados en zonas del avión en las que puedan sustraerse al efecto de la presión dinámica producida por las elevadas velocidades encontradas.

La calefacción de determinados instrumentos y de sus tomas de presión debe ser también tenida en cuenta, no obstante que la disposición de aquéllos en la cabina estanca y la ausencia de humedad en las zonas de vuelo subestratosférico sean ya en sí mismos una adecuada protección. Pero debe tenerse en cuenta, como varias veces se ha manifestado, que la navegación a alturas comprendidas entre 7.000 y 11.000 metros lleva consigo el ascenso y el descenso a través de masas nubosas y zonas atmosféricas saturadas de humedad. Consecuente con este extremo, es preciso tener en cuenta que la dotación instrumental del avión debe ser provista del adecuado medio de protección contra la formación de hielo y contra los defectos que en su funcionamiento puede originar la presencia de aquél, y por tanto, es preciso dotar a la toma del anemómetro con la correspondiente protección, así como a la del variómetro y los tubos de Venturi, caso de que estas tomas de presión accionen determinados instrumentos.

Referente a la aguja magnética, respecto a la cual

ya se manifestó que la disminución de la fuerza directriz con la altura no había de disminuir su correcto funcionamiento, debe tenerse en cuenta que al atravesar determinadas masas de nubes en condiciones de formación de hielo han sido observados errores hasta 90° durante períodos de tiempo considerables; se ha atribuido esta anomalía a la existencia de campos eléctricos en el seno de las nubes, si bien no se ha llegado a concretar exactamente el mecanismo que producen estas perturbaciones. Consecuente con estos posibles errores de la aguja, es preciso atender a que los indicadores de viraje u otro sistema de orientación den las debidas indicaciones.

Contra los peligros o consecuencias de la formación de hielo, es conveniente proveer a los aviones subestratosféricos de los correspondientes instrumentos para el señalamiento de la formación de hielo, tanto en los circuitos de alimentación del motor como en las superficies del avión; y en general, proteger las hélices, alas, planos de mando, etc., con los medios adecuados para evitar las pesadas cargas que en consecuencia podrían producirse sobre el avión. Es preciso también proveer a la aeronave de aquellos dispositivos que permitan obtener una suficiente visión exterior, así como de los de protección de las antenas radio, aisladores, etcétera—tanto de la estación normal como de la radio goniométrica—para evitar su defectuoso funcionamiento a consecuencia del hielo formado.

#### RESUMEN

Los problemas enumerados sucintamente y otros generales, entre los cuales pueden citarse los de realización: de los compresores adecuados para la alimentación de la cabina, los dispositivos de regulación automática, de las llaves de circulación de aire y de mantenimiento de la presión, de la adopción a las grandes alturas de los circuitos de aire que accionen los descongeladores de ala o del empleo de otros dispositivos; los de realización de descongeladores y el hielo exterior de las ventanas, los de mejoramiento de instalación de los instrumentos y dispositivos de navegación, los de empleo de esencias poco volátiles para disminuir las pérdidas por evaporación a las grandes alturas, etc., etc., son un conjunto de problemas que exigen ser abordados por la Técnica para lograr la práctica realización de los vuelos subestratosféricos, cuya necesidad indudablemente se siente en el estado actual de progreso de la Aviación.

Señalan diversas informaciones que el peso de los mecanismos y dispositivos necesarios para conseguir las cualidades de los aviones aptos para los vuelos a estas grandes alturas tiene como consecuencia el poco rendimiento en cuanto a carga útil que ofrecen tales aeronaves; pero es indudable que cabe esperar, como la experiencia ha demostrado, en la evolución del material aeronáutico y sus instalaciones sensibles reducciones de peso en las instalaciones y dispositivos considerados que haga que los pesos por caballo-vapor de potencia desarrollada y los pesos por metro cuadrado de superficie sustentadora de los aviones subestratosféricos estén dentro de límites tales que permitan el levantamiento y transporte de las necesarias cargas militares o comerciales.