

La alta atmósfera

(Extractado de un artículo de Willy Ley,
publicado en "Aeronautical Engineering Review".)

Durante los últimos diez años ha podido observarse un interés enorme, creciente, en relación con un campo de investigación que anteriormente solía estar reservado a los especialistas: la alta atmósfera. Este aumento de interés ha tenido lugar en dos direcciones. Por un lado se ha incrementado entre aquellos que siempre habían estado interesados en la cuestión, gracias en parte a la posibilidad de disponer de nuevos medios de investigación, principalmente cohetes capaces de alcanzar grandes alturas. No obstante, mayor importancia tiene el desarrollo de este interés en otros campos de actividades. Hasta no hace mucho, sólo los meteorólogos, y en cierto grado los astrónomos, se preocupaban de la alta atmósfera. Hoy en día este interés está repartido entre gran número de militares, proyectistas de proyectiles-cohete, especialis-

tas en materia de cohetes y expertos del amplio y múltiple campo de la Aerodinámica.

La razón de esto es fácilmente comprensible. Mientras los aviadores consideraron los 6.000 metros como una "gran altura" para sus fines prácticos, su interés por las cuestiones meteorológicas quedaba limitado más o menos a lo que ocurría hasta aquellos 6.000 metros. Les interesaba el tiempo, las condiciones atmosféricas, no la atmósfera en sí. Pero a partir del momento en que aparecieron los turborretores y estatorretores y surgieron los cohetes con sus múltiples posibilidades, la alta atmósfera se ha convertido en un campo de investigación, que no solamente ha de explorarse por el placer del puro conocimiento de su naturaleza, sino con vistas a su aprovechamiento

por la mecánica aplicada en un futuro próximo.

La primera cifra facilitada en la Historia con relación a la atmósfera se debió a la astronomía árabe. Para los árabes, la tierra era, sin disputa, una esfera que flotaba libremente en el espacio. Se suponía que la atmósfera tenía un límite, y consiguientemente se hicieron intentos para establecer su altura mediante cálculos basados en la duración de los crepúsculos. Así se llegó a determinar la cifra de 92 kilómetros.

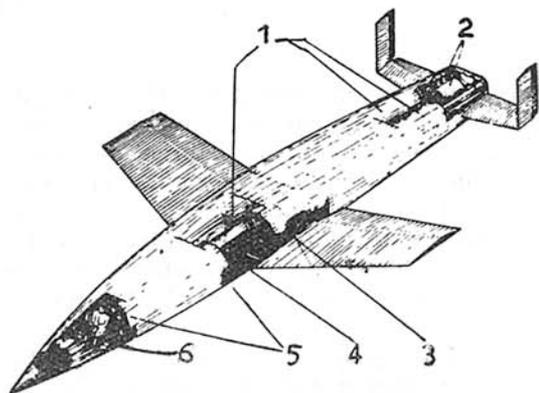
Posteriormente, el famoso doctor Edmond Halley (1714), recopilando datos y observaciones hechas por alpinistas y recurriendo al cálculo para rellenar los huecos, llegó también a la conclusión de que la atmósfera debía hallarse compuesta por tres capas principales. La capa inferior, caracterizada por un descenso continuo de temperatura a medida que se asciende en el seno de la misma, tenía, en su opinión, un espesor de 14,5 km. La capa intermedia, caracterizada por una temperatura en extremo baja pero constante, se extendía desde los 14,5 km. a los 29, y la capa superior, caracterizada por un descenso aún mayor de la temperatura, se suponía que alcanzaba hasta los 72 kilómetros de altura.

Casi todo esto nos suena a cosa moderna, salvo en que las cifras nos parecen demasiado reducidas. Estamos conformes con el doctor Halley en cuanto a la cifra que indica el espesor de la troposfera; pero consideramos demasiado reducida la que da para el conjunto de la atmósfera. Sin embargo, nuestra opinión deriva de conocimientos mucho más modernos. Incluso los dos términos utilizados actualmente para designar las capas inferior e intermedia de la atmósfera fueron acuñados hace solamente unos sesenta años por el meteorólogo francés León P. Teisserenc de Bort. Y el término "ionosfera", aplicado a la capa superior, no nació hasta después de la primera guerra mundial.

Durante el intervalo de tiempo transcurrido entre los estudios del doctor Halley y de Teisserenc de Bort, los medios de investigación habían ido progresando desde las experiencias de los alpinistas al em-

pleo de globos sin tripulantes (globos sonda), portadores de instrumentos registradores, pasando antes por los globos tripulados. El telemetrage aplicado a los instrumentos de a bordo (el telemetrage (1) en el suelo o superficie de la tierra, mediante un cable, fué inventado en 1877 por el fabricante de instrumentos, holandés, Olland), no hizo su aparición hasta hace, aproximadamente, veinticinco años.

Los grandes progresos realizados desde entonces se deben, sólo en parte, al perfeccionamiento de los instrumentos por un lado y al de los procedimientos de telemetrage por otro. Más que nada se ha debido a la creación de ingenios o aparatos capaces de elevar dichos instrumentos a grandes alturas. Los globos no tripulados y portadores de instrumentos que se emplearon entre 1900 y 1940, por ejemplo, de vez en cuando alcanzaban una altura de 30.000 metros, pero esto ocurría sólo de vez en cuando y no podía lograrse a voluntad. Los 10.500 metros eran ya una "gran altura" para aquellos globos y los 18.000 metros constituían su techo máximo, salvo en casos muy raros. Sólo en años muy recientes ha sido posible cons-



Aspecto del bombardero del Dr. Sanger.—
1. Depósito de combustible.—2. Motor cohete con aparatos auxiliares.—3. Tren de aterrizaje.—4. Bomba.—5. Depósito de combustible.—6. Cabina estanca.

(1) Este "telemetrage" debe entenderse en su sentido etimológico de medición y transmisión de los datos a gran distancia desde el globo sonda o cohete a tierra. (N. del T.).

truir globos de los que puede esperarse fundadamente que alcancen una altura máxima de 30.000 metros y que, en algunas ocasiones, pueden remontarse algo más todavía.

El empleo de cohetes, en lugar de globos, como ingenios portadores de los instrumentos empleados para la investigación de las capas superiores de la atmósfera, había sido ya propugnado insistentemente en 1920 por el difunto Profesor Robert H. Goddard. La Historia registra el hecho de que un ingeniero alemán llamado Alfred Maul había construido ya cohetes portadores de instrumentos (estos cohetes empleaban combustible sólido) en 1909 e incluso había patentado su idea. Pero Maul solamente perseguía la sustitución del globo por el cohete, por razones prácticas (fácil manejo, independencia de los vientos reinantes, rápido alcance de la altura deseada, etc.). No trataba con ello de conseguir alcanzar alturas superiores ni hubiera podido lograrlo tampoco con los cohetes de pólvora negra de que disponía en su tiempo, aunque ésta hubiera sido su idea, que no lo fué.

La investigación de la alta atmósfera, mediante instrumentos instalados en cohetes, comenzó solamente hace cinco años, pero los resultados obtenidos pueden aprovecharse con éxito para comprobar las predicciones hechas a base de los métodos anteriores. Por ejemplo, podemos comparar las cifras relativas a la presión atmosférica que figuran en el Informe núm. 218 de la N. A. C. A., "Standard Atmosphere", con las obtenidas sobre el

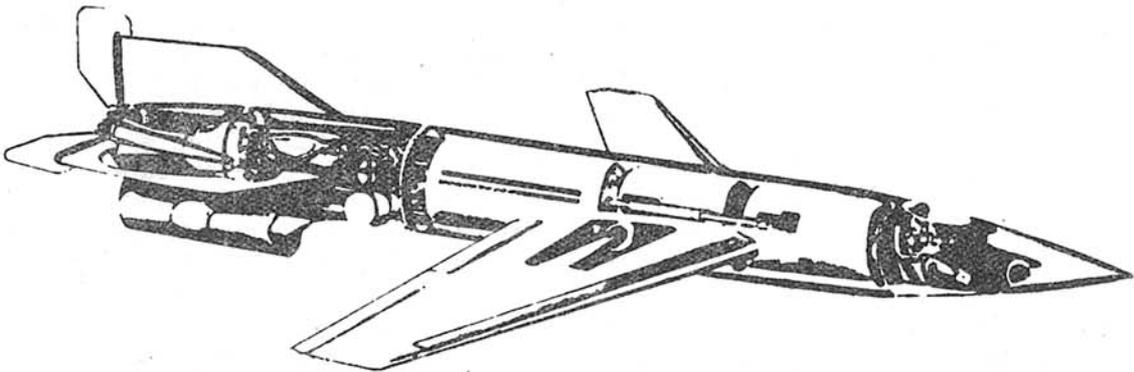
Campo de Experimentación de White Sands, en Nueva Méjico, con el cohete V-2, núm. 21, el 7 de marzo de 1947, conforme se indica en la Tabla I.

TABLA I

Tiempo invertido desde el momento del despegue, en segundos.	Altura en metros.	Presión, mm. de mercurio, V-2 Núm. 21.	N. A. C. A.
0	1.200	660	658
10	1.700	630	619
20	3.500	495	493
25	5.000	410	405
30	7.000	300	308
35	9.400	210	217
40	12.300	130	138
45	15.900	76	79
47,5	18.000	52	56
50	20.400	33	40

La primera línea se refiere a la elevación sobre el nivel del mar, del Campo de Experimentación de White Sands.

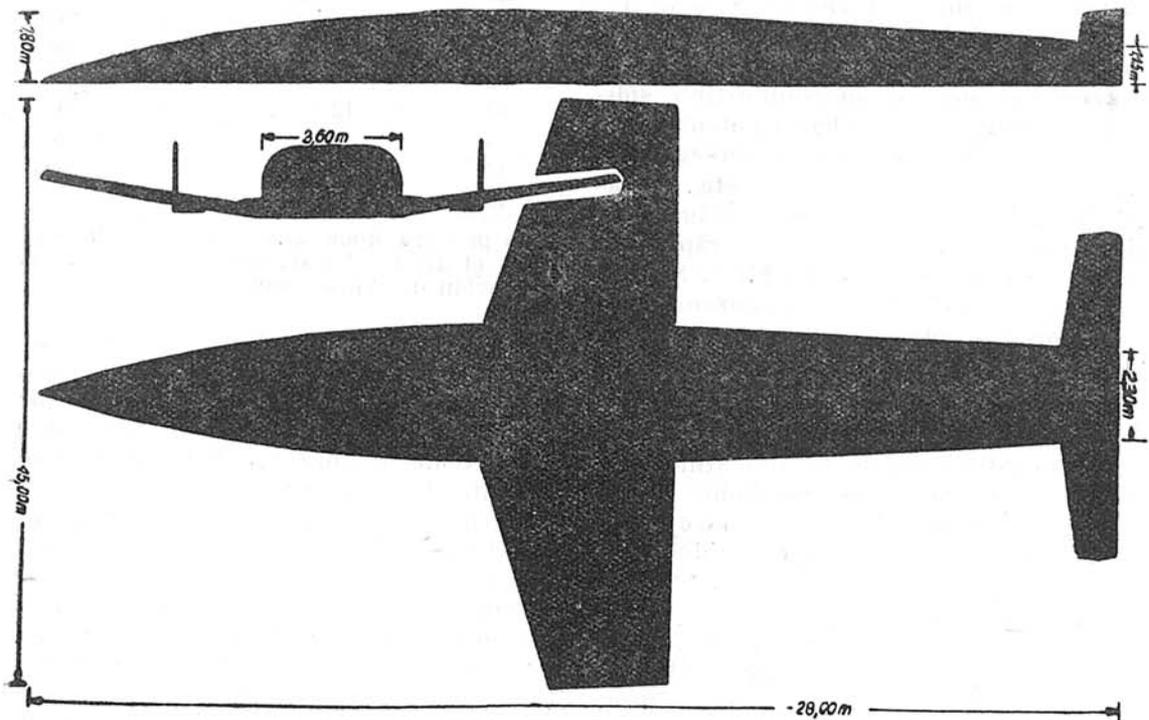
Gran parte del detalle de las ideas actuales sobre la constitución de la atmósfera son ya conocidas, gracias al artículo de Howard E. Roberts (publicado en el número de octubre de 1949, de la "Aeronautical Engineering Review"), pero pueden incluirse aquí algunas cifras totales. El peso total de la atmósfera, suponiéndola completamente seca, se calcula en unas 5×10^{15} toneladas; el peso real, teniendo en cuenta la humedad, se estima en unas $5,9 \times 10^{15}$ toneladas. Virtualmente, toda la humedad se encuentra en la troposfera, que comprende un 79 por 100 de la masa total de la atmósfera, sin ocupar



Dibujo alemán del proyectado A-9.—Dimensiones totales aproximadamente iguales a las del A-4 (V-2), pero distintos combustibles.

más que un tercio por ciento de su volumen. La estratosfera, que comprende el 20 por 100 de la masa total, ocupa el 2 por 100 del volumen, en tanto que la ionosfera ocupa casi la totalidad del espacio (más de un 97 por 100), siendo su masa menos de un uno por ciento de la total. En la ionosfera superior casi es imposible hablar de "atmósfera", ya que este término implica la idea de un medio continuo. Y a la altura "record" de un solo cohete V-2, los 183 kilómetros, la

serie de cálculos realizados por el doctor Eugen Sänger, natural de Viena y que actualmente se encuentra en París ("Intervista", julio de 1949). El doctor Sänger trató de determinar la menor altura posible para un cohete-satélite. Supuso la existencia de un cohete con un peso, en seco, de 10 toneladas, que se moviera sin propulsión, pero con la suficiente velocidad "orbital" para las alturas indicadas. Las tres alturas elegidas eran los 130 kilómetros, los 180 y los 250, todas ellas



Planta del bombardero "antípodo" del informe Sänger-Bredt.

"senda libre" de las moléculas de aire es, por término medio y según el informe Grimminger, hasta de 11 metros, por lo que resulta ya más bien una cuestión de impactos moleculares individuales más que otra cosa. A la altura máxima alcanzada hasta la fecha por un cohete WAC-Corporal, el 24 de febrero de 1949, que fué de 400 kilómetros, la "senda libre" media de las moléculas es del orden de los ocho kilómetros.

La asombrosa falta de densidad a alturas ya alcanzadas por los cohetes, fué prevista asimismo como consecuencia de una

alcanzadas ya en la actualidad por cohetes que se remontaron casi verticalmente. A una altura de 130 kilómetros, un cohete tal de 10 toneladas de peso perdería todavía casi 10.000 metros de altura en cada revolución completa en torno a la tierra. A la altura de 180 kilómetros la pérdida de altura por giro completo sería de unos 0,9 metros (casi un metro).

Esta comparación se comprende mejor si se expresa en el número de revoluciones necesario para motivar una pérdida de un 1 por 100 de la altura primitiva. Para una altura de 130 kilómetros, se

pierde un 1 por 100 tras un octavo de vuelta completa. Para una altura de 180 kilómetros, se necesitaría que el cohete efectuara 1.800 revoluciones completas para que perdiera ese 1 por 100 y a una altura de 250 kilómetros, la pérdida de 2,5 kilómetros no tendría lugar hasta que realizase 100.000.000 de revoluciones completas.

Actualmente, como es natural, nos encontramos todavía más interesados en las capas inferiores de la atmósfera, que son las que atravesamos al volar. Cuando observamos estas capas desde un punto de vista práctico, nos encontramos con una estratificación que nos recuerda y, como es lógico, relacionamos con la distribución en capas de la propia atmósfera. Cerca de la superficie terrestre, desde el suelo a los tres kilómetros de altura, tenemos el reino de los pequeños aviones sin cabina estanca, de los helicópteros y de los "blimps" (dirigibles no rígidos, de pequeño tamaño). La "capa" siguiente, entre los tres a los 12 kilómetros, es el dominio de los aviones con cabina estanca, pero que disponen todavía de una amplia gama, a elegir, de instalaciones motopropulsoras (motores de combustión interna, con sobrealimentadores, turbohélices o turboreactores). Pero en la parte superior de esta "capa" la presión ha descendido ya a sólo 145 milímetros de mercurio y un metro cúbico de aire pesa solamente 309 gramos, frente a los 1.225 gramos que pesa al nivel del mar. La capa siguiente, que se extiende desde los 12 a los 18 kilómetros, parece dominio más o menos exclusivo de los turbo-reactores y estatorreactores. El límite no deriva tanto de la falta de densidad del aire, por lo que se refiere a las superficies sustentadoras del avión como a la falta de oxígeno necesario para el funcionamiento de los motores.

Un avión de caza rápido con motores de combustión interna requiere un suministro de aire de 2,8 a 3,5 metros cúbicos por segundo. Para los cazas de propulsión a chorro, como el F-80 y el F-84, estas cifras se elevan a los 56,6 metros cúbicos por segundo. La cifra de 18.000 metros de altura (que supone una presión de 56,6 milímetros de mercurio y una "senda libre" de unos 0,001 milímetros para

las moléculas de aire) es un tanto arbitraria, pero es dudoso el que los aviones con motores necesitados de aire para funcionar, puedan volar por encima de la misma.

Como es natural, los ingenios aéreos dotados de motores-cohete pueden remontarse más; pero lo interesante es que el dominio del "vuelo de los cohetes" no comenzará allí donde termina el imperio de los motores que necesitan aire. El aire, por ejemplo, a unos 20 km. de altura, que resulta ya demasiado rarificado para apoyar o permitir el funcionamiento de un motor que necesita aire para actuar, es, sin embargo, demasiado denso todavía para permitir el funcionamiento eficaz de vehículos de propulsión cohete. El principio del cohete no se presta a la aplicación normal de la potencia de los motores a los aviones, que pudiera definirse como la "aplicación de potencia durante todo el tiempo del vuelo y todo el camino recorrido". Para utilizar el principio del cohete eficazmente, la aplicación de la potencia ha de limitarse al momento del despegue; luego, el cohete se desplaza en virtud de la energía cinética.

Por ejemplo, el tan conocido cohete V-2 alcanza una velocidad de casi 1,6 km. por segundo, tras 68 segundos de arder su combustible en una proporción de 125 kilogramos de alcohol y oxígeno líquido por segundo. Si la velocidad en el momento de cesar la combustión se halla dirigida aproximadamente en dirección vertical, el cohete se elevará a unos 176 km. de altura y volverá a caer a tierra a unos 30 ó 40 km. del punto de lanzamiento. Si en el momento de cesar la combustión el proyectil lleva una inclinación de unos 45 grados, se tendrá un alcance de cerca de 320 kilómetros y una elevación máxima de 80 a 160 kilómetros del punto de partida. En uno y otro caso (y excepto en la parte de trayectoria, relativamente corta, en que el cohete asciende impulsado por su combustible) la trayectoria es parte de una elipse, uno de cuyos focos coincide con el centro de la tierra. En servicio se utilizó un ángulo de 41 grados (medido sobre la vertical en el punto de partida), lo que se traducía en un alcance de 302 kilómetros, con una altura máxima de 96,5 kilómetros. Sobre dicha tra-

yectoria el cohete atravesaba capas atmosféricas relativamente densas a 30 kilómetros de altura, con una velocidad—a lo largo de la trayectoria—de casi 1.530 metros por segundo. Desde este punto al del impacto había 32 kilómetros, medidos horizontalmente; pero la velocidad, al tocar el suelo a causa de la creciente resistencia del aire, era solamente de 780 metros por segundo.

Después de determinadas estas cifras para el V-2, los alemanes concibieron la idea de equipar el cohete con alas cortas y en flecha. Los proyectos se llamaron A-4 b y A-9, consistiendo la diferencia entre uno y otro principalmente el utilizar una combinación diferente de combustible y oxidante. Aquellas alas, después de penetrar el cohete de nuevo en capas más densas, estaban destinadas a convertir el cohete virtualmente vacío de combustible, y por ello, ligero, en un planeador de grandes velocidades, aumentándose el alcance, según los cálculos iniciales, en 160 kilómetros. Casi al mismo tiempo el doctor Eugen Sänger estudió el problema de un cohete alado que penetrase en capas atmosféricas más densas de regreso de alturas más elevadas. No sin cierta sorpresa por su parte comprobó que el aumento del alcance del proyectil había de ser mucho mayor, ya que el cohete rebotaría en la capa más densa, alcanzaría otra vez mayor altura, descendería de nuevo, rebotaría una vez más y así sucesivamente, presentando su trayectoria una serie de ondulaciones que irían aminorando su amplitud, tanto a lo largo como a lo alto, vertical y horizontalmente.

Antes de que ponga un ejemplo, hay que indicar los datos del supuesto del doctor Sänger. Este supuso un cohete alado en forma de avión, con un peso en el momento de despegar de 100 toneladas, y un peso vacío de 10 toneladas, con "carga comercial" de 0,3 toneladas. El vehículo había de ser catapultado desde una pista horizontal a una velocidad de 500 metros por segundo, empleando luego todo su combustible en una subida en ángulo de 30 grados aproximadamente, alcanzando la máxima velocidad en el momento de cesar la combustión: 6.000 metros por segundo, cifra que, digamos de paso, era

doble de la velocidad de escape supuesta. Entonces la "senda de vuelo" hubiérase asemejado a lo indicado en la Tabla II, seguida por un movimiento sin notables variaciones en la altura de vuelo hasta una distancia de 22.600 kilómetros, tras de lo cual vendría la pérdida de altura, planeando el cohete y terminando su recorrido a una distancia de 23.500 kilómetros al nivel del mar.

Hay que admitir que este ejemplo es un tanto exagerado al fundarse cómo lo hace en un vuelo hasta los antípodas. Pero la parte principal de la senda de vuelo de un cohete alado se encuentra por encima de los 40 kilómetros.

Un cálculo análogo debido posteriormente al doctor Hsue-shen Tsien, de Caltech, se basa asimismo en una senda de vuelo (no ondulante) a una altura media de 38 kilómetros. La región comprendida entre los 17 kilómetros y los 40 aproximadamente parece destinada, por tanto, a mantenerse libre de tráfico aéreo a causa de sus características, ya que no es lo bastante buena para los motores que necesitan aire ni tampoco buena para los cohetes.

TABLA II

	Distancia desde el punto de despegue, medida sobre la superficie en kms.	Altura sobre el nivel del mar en kms.
Primera cresta... ..	2.500	260
Primer seno..	4.500	40
Segunda cresta... ..	5.750	125
Segundo seno	7.000	40
Tercera cresta	8.200	120
Tercer seno	9.400	40
Cuarta cresta.	10.200	90
Cuarto seno	10.900	40
Quinta cresta.	11.600	82
Quinto seno	12.300	40
Sexta cresta... ..	13.000	60
Sexto seno	13.500	40
Séptima cresta	14.200	60
Séptimo seno	14.500	40
Octava cresta..	15.100	60
Octavo seno	15.700	40
Novena cresta.	16.300	60
Noveno seno... ..	16.800	40
Décima cresta.	17.500	43
Décimo seno..	18.000	40