

Ciencia y Aeronáutica

A continuación reproducimos el interesantísimo tema científico que con este mismo título desarrolló el director de la Escuela Superior Aerotécnica, teniente coronel D. Emilio Herrera, el día 19 de abril pasado, en su discurso de recepción en la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Per scientiam ad excelsa.

Per excelsa ad scientiam.

EN la primera impresión sintética que el mundo exterior produjo en la conciencia del hombre, al manifestarse a través de las brumas de su instinto animal los primeros destellos de su inteligencia, debió presentársele el espectáculo maravilloso del Universo como constituido por dos partes esencialmente distintas: una, firme, tangible, inmovible, de indudable realidad, formada por el suelo donde asentaba sus pies; la otra, ocupando el espacio que se extendía sobre su cabeza, inaccesible, etérea, plena de formas, luces y colores cambiantes e imprecisos.

Al volver la atención de su conciencia hacia el mundo interior de su espíritu, debió, asimismo, encontrar dos regiones opuestas: la de los conocimientos adquiridos que le aparecían también como una base firme e inmovible, de verdad y de certeza, y la región de lo inexplicado, de lo desconocido, de lo misterioso, hacia la cual le impulsaba su incipiente afán investigador.

Relacionando las impresiones emanadas del mundo exterior y del interior de su yo consciente, aquel hombre primeval debió considerar al suelo firme, situado al alcance de todos sus sentidos, como la representación de sus conocimientos indudables, mientras que la región inaccesible de las alturas correspondía a la de los enigmas y misterios que inquietaban su espíritu. De ahí la atracción que, desde los más remotos tiempos que ha registrado la Historia ha sentido el hombre hacia el espacio insondable que se extiende sobre su cabeza, intentando investigar sus misterios elevándose dentro de él, y, no siendo esto posible, explorándolo en alas de la fantasía que lo pobló de todo un mundo de seres superhumanos dotados de la facultad de volar libremente por él. Y tal era la obsesión que la Humanidad ha sentido por la exploración de las alturas, que no ha concebido nunca un ser superhumano sin dotarle de esta facultad que el hombre siempre ha anhelado poseer.

Medio millón de años ha transcurrido desde que el Universo fué, por primera vez, objeto de una apreciación consciente sobre la Tierra; el hombre ha modificado profundamente la síntesis de esta primitiva apreciación; el suelo ya no es la base conocida, firme y fundamental del mundo exterior, sólo constituye una ínfima parte de él, móvil e inconsistente, tan misteriosa como lo demás y sometida a todas las perturbaciones que la acción de los agentes exteriores e interior es ejercen sobre ella. En el mundo interior, el hombre encuentra ahora considerablemente reducido el fondo firme de sus conocimientos que antes consideraba como ciertos. A medida que su campo de exploración en el Universo va ensanchándose, se van derrumbando teorías y ciencias que aparecían inmovibles; parece como si en la meta de la humana sabiduría, a la que el hombre se esfuerza por llegar esperando encontrar en ella la verdad suprema que le ponga en la posesión cierta de la absoluta omnisciencia, ha de hallar, por el contrario, la certeza de su absoluta ignorancia, y, tendiendo a acercarse al punto en que pueda decir: «todo lo se», en realidad se va acercando asintóticamente a aquel en que tendrá que confesar: «sólo se que no se nada». La *docta ignorantia* socrática aparece como final de todos los esfuerzos del hombre hacia la sabiduría.

La Humanidad, realizando el mito de Ícaro, trata de acercarse al sol de la verdad absoluta, de la suprema ciencia, ante cuyos rayos abrasadores las débiles alas de su inteligencia se muestran imposibilitadas para sostenerse, precipitándola en la negra realidad del convencimiento de su incapacidad. Siempre el mismo simulacro que coloca abajo la base firme de lo conocido y en las alturas la atracción fascinante de la verdad incógnita, perpetuándose a pesar de la diferente concepción que el hombre actual tiene formada acerca del macrocosmos dentro del cual habita y del microcosmos que habita dentro de él.

Sería difícil encontrar un orden de conocimientos humanos, una sola ciencia que el hombre no haya puesto a contribución para realizar su eterna tendencia a escalar las regiones del cielo, en su afán de investigar los misterios que encierran, y de adquirir, por el esfuerzo de su inteligencia, la facultad de desprenderse del suelo, que siempre ha envidiado, aun considerándose el rey de la Creación, a los animales, sus inferiores, que gozaban de ella.

Para poder sostenerse en el espacio sin caer por la acción de la gravedad y sin contacto con la superficie terrestre, ha necesitado el hombre buscar un punto de apoyo que no sea la reacción del suelo, y para ello ha debido estudiar las condiciones del medio de que se encontraría rodeada la aeronave, vehículo aéreo o sistema sustentador, al abandonar el contacto con la tierra o con el agua.

Este medio, en que habría de sostenerse y moverse la aeronave, está formado principalmente por un gas, el aire, dotado de peso, masa, energía cinética, térmica e interatómica y potencial eléctrico. El aire ocupa un espacio, a su vez asiento del campo magnético terrestre y atravesado por radiaciones procedentes de la misma Tierra, del Sol, de los demás astros visibles y de las profundidades del cosmos. Cada una de estas circunstancias del espacio que envuelve a la superficie terrestre puede servir, al menos teóricamente, como asiento en que apoyarse, a falta de la reacción del suelo firme, y aun suponiéndose el espacio vacío de toda materia o manifestación de energía, todavía puede buscarse el punto de apoyo en la masa de los cuerpos que puedan lanzarse desde la propia aeronave.

Podemos, pues, clasificar los procedimientos posibles para obtener un punto de apoyo fuera de la superficie terrestre, en: primero, los que lo obtienen del aire; segundo, los que utilizan el campo magnético terrestre; tercero, los que se apoyan en la radiación, y cuarto, los fundados en la proyección de masas.

El primer procedimiento, o sea el de buscar el punto de apoyo en el aire, puede, a su vez, dividirse en otros tres: *a)*, el que utiliza el peso del aire; *b)*, el que emplea su masa inerte como punto de apoyo, y *c)*, el que se funda en la carga eléctrica del aire.

En todos los procedimientos citados se trata de contrarrestar la acción de la gravedad sobre el hombre y los sistemas sustentadores de que se valga, o sea, su peso, que es una fuerza de dimensiones LMT^{-2} , por medio de otra fuerza obtenida del medio ambiente, pues aun en el cuarto procedimiento, las masas, una vez proyectadas desde la aeronave, ya pertenecen al medio ambiente, al cual la aeronave dota de una suficiente densidad máxima sustentadora.

Esta fuerza, equilibradora del peso, estará formada siempre

por el producto de dos factores: uno, que dependerá de las cualidades del ambiente, y el otro, proporcionado por las de la aeronave. En los distintos procedimientos sustentadores, uno y otro factor varían de dimensiones, pero siempre el producto de ellos forma las generales de toda fuerza LMT^{-2} .

Ya, con esta simple exposición, aparece la íntima colaboración que ofrecen la mayor parte de las ciencias físicas al problema de la navegación sin contacto con la tierra ni con el agua, la que intentamos poner aún más de relieve en el ligero análisis que haremos, a continuación, de cada uno de estos procedimientos.

Comenzaremos por el *I-a* de la anterior clasificación, o sea, el que busca el punto de apoyo en el peso del aire desalojado por la aeronave o su sistema sustentador. Este es el procedimiento *aerostático*, fundamento de los globos de todas clases, y el primero que ha permitido al hombre elevarse sobre el suelo mediante un apoyo obtenido fuera de él.

La ciencia cuyos principios tienen principal aplicación en este sistema de sustentación aérea es la Estática de los fluidos, conocida desde Arquímedes, aunque su primera aplicación práctica a la navegación aérea fué realizada, en Lisboa, por Bartholomeu Lorenço de Gusmao, el fraile *voador*, quien, según relata textualmente Leitao Ferreira, «*fez a experiencia em 8 d'agosto d'este anno de 1709 no pateo de Casa da Índia diante da sua magestade e muita fidalguia e gente com un globo que subiu suavemente á altura da sala das embaixadas, do mesmo modo desceu, elevado de certo material que ardia e a que applico o fogo ó mesmo inventor*».

Esta primera experiencia aerostática, hecha setenta y cuatro años antes que las realizadas por los célebres hermanos Montgolfier, confirmó plenamente que el principio de Arquímedes era aplicable a toda clase de fluidos, tanto líquidos como gases, lo que ya se había asegurado por el monje alquimista inglés Roger Bacon, en su obra *Opus Majus*, escrita a mediados del siglo XIII.

El procedimiento aerostático produce como fuerza equilibradora del peso de la aeronave la resultante de las presiones del aire sobre el conjunto de ella. Esta resultante, que es vertical, no puede resolver el problema de la navegación aérea por sí sola, sino únicamente el de la sustentación. Su intensidad es, según es sabido, igual al peso del aire desalojado, o sea, al producto del volumen total de la aeronave por la densidad del aire. Vemos, pues, que los dos factores que constituyen la fuerza equilibradora son: uno, propio de la aeronave, que es su volumen de dimensiones L^3 ; y otro, propio del medio ambiente, que es la densidad del aire, de dimensiones

$$\frac{M_a}{L^3} = \frac{MLT^{-2}}{L^3} = ML^{-2}T^{-2};$$

teniendo el producto de ambos las dimensiones MLT^{-2} de una fuerza.

De estos dos factores, el propio del medio ambiente tiene un valor límite, el correspondiente a la densidad del aire al nivel del mar, que, a cero grados centígrados, es de 1.923 gramos por metro cúbico; en cambio, el volumen, que es el factor propio de la aeronave, puede ser fijado a voluntad del constructor, aunque, creciendo el peso de la envoltura con la cuarta potencia de sus dimensiones lineales, mientras la fuerza ascensional del globo sólo crece con la tercera, existe siempre un volumen máximo para el cual el peso de la envoltura llega a ser igual al de la fuerza ascensional total, haciéndose imposible el equilibrio aerostático para los globos de volumen mayor.

El procedimiento aerostático requiere, además de la Estática de los fluidos, el empleo de la Meteorología para el conocimiento de las leyes de distribución de la densidad del aire en las distintas capas atmosféricas, de la Termodinámica por la calefacción del gas en los movimientos verticales por efecto de las compresiones y expansiones adiabáticas, de la Química para los procedimientos de fabricación del gas ligero, hidrógeno o helio, empleado para la sustentación, de la Resistencia de materiales para el cálculo y construcción de la envoltura y de sus elementos, de la Electroestática para tener en cuenta los fenómenos eléctricos desarrollados en el globo en sus movimientos verticales; todas éstas y otras muchas ciencias son necesarias, aunque sólo se trate del problema de obtener puramente la sustentación aerostática, o sea, para el equilibrio vertical del globo sin propulsión, pues tratándose de un aerostato dirigible, solamente el problema de determinar la forma más conveniente de la envoltura y los esfuerzos que ha de soportar obliga al empleo de la Aerodinámica, del Cálculo de variaciones y del Cálculo de estructuras sometidas a esfuerzos dinámicos, además de todos los demás conocimientos relativos a los sistemas motopropulsores empleados.

El procedimiento *I-b* obtiene como apoyo para la aeronave la inercia de una masa de aire que continuamente va rechazando hacia abajo. Es el primero que el hombre ha visto realizado en la Naturaleza por las aves y todos los animales dotados de la facultad de volar, y el que más ha anhelado poseer. Su ciencia fundamental ha sido la Aerodinámica, cuyas bases estableció Newton, aunque erróneamente, en su famosa «ley del seno cuadrado», error que probablemente ha costado a la Humanidad un considerable retraso en la resolución del problema de la Aviación, porque, según esa ley, tenida como cierta hasta principios de este siglo, ninguno de los aviones hoy día existentes podría sostenerse en el aire. Naturalmente por esto, el solo hecho de que una persona se dedicara al estudio del problema de la navegación aérea por medio del «más pesado que el aire» fué considerado, durante algunos siglos, como señal de incapacidad mental o de ignorancia, puesto que demostraba el desconocimiento de la ley newtoniana del «seno cuadrado», principio fundamental de la incipiente ciencia aerodinámica. Los datos obtenidos experimentalmente en los primeros ensayos de vuelos planeados y en los laboratorios aerodinámicos demostraron la falsedad de esta ley aplicada a un gas en las condiciones del aire ambiente, aunque está correctamente planteada para los gases en que puedan desprejarse las interacciones moleculares, como ocurre en el estado radiante, y el problema de la Aviación quedó abierto a la investigación de los hombres de ciencia una vez desaparecida la barrera que dificultaba su paso.

En el procedimiento aerodinámico, lo mismo en las aeronaves que los órganos impulsadores del aire hacia abajo están fijados a ella (aeroplanos), como en las que los tienen giratorios y libres (autogiros), o giratorios mandados (helicópteros), o de movimiento alternativo de alas batientes (ornitópteros), siempre la reacción de la masa inerte del aire rechazado origina la fuerza vertical equilibradora del peso del avión como consecuencia del teorema de Bernoulli al poseer mayor velocidad, y, por tanto, menor presión, el aire que actúa sobre la superficie superior del órgano sustentador (ala) que el situado por debajo de él.

La combinación de esta diferencia de velocidades, necesaria para que exista la fuerza sustentadora, con la velocidad de traslación horizontal del ala, da como resultado la formación de un torbellino de eje situado en el ala transversalmente a su movimiento. La sustentación aerodinámica lleva, pues, consigo la aparición de este torbellino combinado con el movimiento horizontal de traslación.

Para que el ala mantenga su movimiento de traslación simultáneamente con su torbellino transversal necesita la acción de una cierta fuerza propulsora igual y contraria a la resistencia al avance que el aire opone a su movimiento, y dicha fuerza, haciendo progresar al ala en el sentido de su dirección, representa una potencia motriz de la que la aeronave deberá dispo-

ner para sostenerse en el aire. Vemos, pues, que así como la sustentación aerostática era proporcionada *gratis* por la aeronave con sólo que su volumen fuera suficientemente grande y su peso suficientemente pequeño, la sustentación aerodinámica únicamente puede obtenerse a costa de una cierta potencia de la que el avión puede disponer.

La resistencia al avance que el órgano sustentador aerodinámico debe vencer para su traslación se compone de tres partes: la originada por la viscosidad del aire en su frotamiento con el cuerpo, la debida a la formación de remolinos al abrirse paso el ala a través de la masa de aire y la exigida por el mantenimiento del torbellino transversal que produce la sustentación, que es la «resistencia inducida» análoga a la fuerza que sufre un conductor por el que pasa una corriente eléctrica cuando está situado en un campo magnético.

Suponiendo, en un caso ideal, que el aire carece de viscosidad y que el régimen del fenómeno aerodinámico sea perfectamente laminar, sin turbulencia alguna, las dos primeras partes de la resistencia al avance, puramente perjudiciales, desaparecerán; pero no así la tercera, que es indispensable para que exista el efecto útil de la sustentación.

Si se logra la ley elíptica en la distribución de los hilos de torbellino en el sentido de la envergadura del ala, se obtiene la máxima fuerza sustentadora con una potencia dada, que, si llamamos Z a dicha fuerza, P a la potencia, y a la envergadura del ala, D a la densidad del aire ambiente, g a la aceleración de la gravedad y v a la velocidad de traslación, queda determinada por la fórmula:

$$Z = y \sqrt{vP} \sqrt{\frac{\pi D}{2g}}$$

en la que hemos separado los dos factores, el primero de dimensiones:

$$L (LT^{-1} ML^2 T^{-3})^{\frac{1}{2}} = L^{\frac{5}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-2}$$

correspondiente a la aeronave, puesto que en él intervienen la envergadura, la velocidad de traslación y la potencia del motor; y el segundo, de dimensiones:

$$(ML^{-3})^{\frac{1}{2}} = M^{\frac{1}{2}} L^{-\frac{3}{2}}$$

correspondiente al medio ambiente, en el que figuran la densidad del aire y la aceleración de la gravedad.

Podríamos suponer que la velocidad v , que tienen el ala y el medio ambiente entre sí, pertenece a uno y a otro factor, haciendo la siguiente distribución:

$$Z = y \sqrt{\frac{P}{v}} v \sqrt{\frac{\pi D}{2g}}$$

y entonces el factor correspondiente a la aeronave tendrá como dimensiones: $L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$, y el correspondiente al medio ambiente: $L^{-\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$, que son análogas a las de la sustentación electromagnética, según veremos después. En todos los casos, como es natural, el producto de ambos factores da las dimensiones de una fuerza LMT^{-2} .

En la práctica, hay que tener en cuenta las tres partes de la resistencia del avance, admitiéndose la ley cuadrática, según la cual tanto ésta como la sustentación crecen proporcionalmente al cuadrado de la velocidad. En esta hipótesis, que se ajusta suficientemente a la realidad, la fuerza sustentadora Z resulta,

en función de la potencia P , de la superficie sustentadora s , del coeficiente de cualidad sustentadora del ala b y de la densidad másica del aire D/g , determinada por la siguiente fórmula:

$$Z = \sqrt[3]{\frac{P}{b^2 s P^2}} \sqrt[3]{\frac{D}{g}}$$

El primer radical representa el factor correspondiente a la aeronave, en que entran el coeficiente de cualidad sustentadora, que es un número dependiente de la forma del ala, la superficie y la potencia; y el segundo es el correspondiente al medio ambiente, en que sólo entra la densidad másica del aire.

Las dimensiones del primero son: $L^2 M^{-3} T^{-2}$, y las del segundo: $L^{-1} M^{\frac{1}{3}}$.

El constructor puede variar independientemente, al menos en teoría, las cantidades que intervienen en el factor propio de la aeronave — aunque las razones constructivas también imponen una limitación —, excepto para el valor del coeficiente de cualidad sustentadora b , que no depende del tamaño sino de la perfección del perfil adoptado desde el punto de vista sustentador, siendo el mejor valor encontrado hasta ahora el de 15, que no es probable pueda ser sobrepasado en mucho.

El procedimiento aerodinámico presenta otra diferencia esencial con el aerostático, consistente en que así como en éste el peso de la aeronave sustituye en la atmósfera al del aire que desaloja sin que esta sustentación origine ninguna modificación en el régimen de equilibrio de las capas atmosféricas y en su presión sobre el suelo, en cambio, la sustentación aerodinámica transmite el peso de la aeronave a la masa de aire, y ésta, a su vez, al suelo, de modo que el avión, en realidad, se apoya en el suelo por intermedio del aire. Si nuestros sentidos para apreciar la presión del aire fueran suficientemente sensibles, podríamos notar el paso de un avión sobre nuestras cabezas, aunque volara a muchos miles de metros de altura, por la repartición de su peso sobre una extensión del terreno situado debajo, más o menos grande, según la altura; en cambio, el paso de un dirigible no produciría ningún efecto de esta naturaleza.

La potencia necesaria para el sostenimiento en el aire del avión habrá que obtenerla de un depósito o acumulador de energía que se lleve a bordo, o bien del medio ambiente.

Cualquiera de los acumuladores de energía conocidos, elásticos, aire comprimido, caloríficos, cinéticos, eléctricos o químicos (explosivos), podría servir, en principio, para obtener a bordo la necesaria para la propulsión del órgano sustentador, creando la fuerza propulsora por procedimientos análogos a los empleados para crear la sustentación y, principalmente, por la reacción de la masa de aire rechazado en sentido contrario; pero estos acumuladores, aunque presentan la ventaja de ser independientes de las condiciones del medio ambiente, tienen el inconveniente de ser demasiado pesados con relación a la energía almacenada, pues aun los explosivos, que son los de mayor capacidad con relación a su peso, serían insuficientes para resolver el problema de la Aeronáutica. Únicamente la energía interatómica podría dar la solución si se conociera el procedimiento práctico para extraerla y utilizarla.

La obtención de la energía del medio ambiente también presenta dificultades prácticas insuperables en la mayor parte de los casos: en unos, como con la energía térmica del aire, por ser la fuente disponible excesivamente débil; en otros, como con la carga eléctrica, aunque muy abundante por la gran diferencia de potencial que existe habitualmente aun entre capas de aire próximas, o gradiente eléctrico, no es fácil de extraer con gasto suficiente a causa de la escasa conductibilidad eléc-

trica del aire; la energía cinética de las agitaciones internas de la masa de aire puede dar la solución en casos especiales y permite el «vuelo a vela» en aviones sin motor, pero tampoco puede ser considerada como la solución del problema general.

Queda como único procedimiento la utilización de una fuente de energía mixta, conducida en parte a bordo de la aeronave y en parte extraída de la atmósfera. Esto se consigue por medio de la combustión de un combustible llevado en la aeronave (gasolina, benzol, aceites pesados) en un carburante (oxígeno) proporcionado por el medio ambiente. De esta manera se obtiene, a igualdad de peso del depósito de energía conducido por la aeronave, una cantidad más de siete veces superior a la que se lograría con el empleo de un explosivo, que a su vez es el más energético, con relación a su peso, de los acumuladores utilizables de energía que hemos citado.

Para estudiar detenidamente cada una de las soluciones citadas para conseguir la sustentación aerodinámica y la potencia necesaria para ella, desechando las no utilizables y deduciendo el empleo más eficaz de las que presente probabilidades de utilización, rara es la ciencia exacta, o fisicoquímica, que no deba ser puesta a contribución.

Además de todas las aplicaciones elementales del Análisis matemático y del Cálculo infinitesimal de uso corriente, haremos especial mención del empleo de los gráficos logarítmicos para la determinación de las características de vuelo (*performances*) de los aviones, de las Funciones logarítmicas y exponenciales para el cálculo de la sustentación a diferentes alturas por la variación de densidad y presión del aire; de las Funciones hiperbólicas para la determinación de velocidades de caída teniendo en cuenta la resistencia del aire; de las Funciones elípticas para los movimientos pendulares en el equilibrio dinámico de las aeronaves y para otros muchos problemas constructivos; de las Funciones de variable compleja y Representación conforme para la determinación analítica de la sustentación aerodinámica de un perfil de ala; del Análisis armónico para los problemas de las vibraciones y resonancia mecánica, fundamentales en la ingeniería aeronáutica. La Geometría analítica presenta multitud de curvas, unas especiales que han aparecido para los diferentes problemas de técnica aérea, y otras, ya conocidas, pero que obtienen una insospechada aplicación a la Aeronáutica: por ejemplo, la «cicloide» aparece como la forma que ha de tener el tubo manométrico para medir la velocidad del viento en el túnel aerodinámico con sensibilidad constante para cualquier velocidad; esta misma curva, «acortada» o «alargada», para el viraje en viento; las curvas del «nadador» y del «perseguido», o del «perro», de aplicación en el problema del vuelo con proa a punto fijo; el «caracol de Pascal», que aparece en el estudio del autogiro; la «espiral logarítmica» para el problema de la puntería aérea de lanzamiento de proyectiles; la «serpentina» o «anguínea» de Newton, y la «versiera» o «cúbica» de Agnesi, que miden, respectivamente, el número de pasajeros y de pasajeros-kilómetro del tráfico aéreo entre las poblaciones, según su distancia; la «envolvente del círculo» y la «cardioide» para el plano en espiral; las «catenarias» ordinaria y de igual resistencia, de aplicación al cálculo de grandes cobertizos para dirigibles; la «astroide» para la maniobra en tierra de esta clase de aeronaves; las superficies tóricas para la resolución del problema de la pirámide en la fotogrametría aérea; etc.

El Cálculo de variaciones es indispensable para resolver muchos problemas de navegación aérea en que hay que determinar la trayectoria más conveniente dada la distribución de vientos; el Cálculo de probabilidades presenta numerosas aplicaciones para el estudio de los aviones multimotores y para la Aeronáutica comercial en la determinación de seguros de accidentes.

Todas las aplicaciones del Cálculo vectorial a la Mecánica racional y a la Mecánica de los flúidos son necesarias para el estudio de la Aerodinámica moderna, con sus teorías, fundamentales, de los torbellinos y de los manantiales y sumideros. Al mismo tiempo, la Aerodinámica también aprovecha la cooperación del electromagnetismo por la similitud que existe entre la mayor parte de los problemas de una y otra ciencia.

El Cálculo de estructuras y la Resistencia de materiales tiene una aplicación especial a la Aviación por el carácter predominante que en ella se ha de dar a los fenómenos vibratorios, inherentes a la periodicidad de las fuerzas procedentes de las reacciones aerodinámicas y de las explosiones del motor, que obran constantemente sobre la aeronave, y por las condiciones extremas en que se verifica el trabajo de los materiales, sometidos al máximo esfuerzo compatible con su límite de elasticidad y dotados de cualidades especiales merced a su composición y tratamiento obtenido mediante el empleo de todos los recursos de la técnica metalúrgica y constructiva moderna.

Igualmente es necesaria la cooperación de la Termodinámica, de la Electricidad, de la Metalurgia y de la Química para el cálculo y la construcción de los motores, de la Meteorología, de la Geografía, de la Cosmografía, de la Física matemática en su parte de óptica, magnetismo, electricidad y radiocomunicación para la navegación aérea en las distintas capas atmosféricas, hasta la navegación en la estratósfera o «estronáutica», y prescindimos, para no hacer interminable esta relación, de la serie de conocimientos científicos de todos los órdenes necesarios para las demás modalidades de la Aeronáutica comercial, topográfica, forestal, etc. Basta decir que presenta con frecuencia problemas, sencillos en apariencia, que no han podido ser, no sólo resueltos, sino ni siquiera planteados en ecuaciones diferenciales, como, por ejemplo, el siguiente caso, muy frecuente en la Aerostación libre — la modalidad más elemental de la Aeronáutica —, que es interesante de resolver porque suele originar accidentes sobre terrenos cruzados por líneas eléctricas: Un globo libre marcha horizontalmente llevando pendiente su cuerda freno, que no toca en el suelo, pero cuyo extremo está próximo a él. Durante este movimiento la cuerda choca con un hilo horizontal, una línea de conducción eléctrica, por ejemplo, y, según la velocidad y la longitud de la cuerda desde el punto que toca hasta el extremo, unas veces oscila y pasa sobre el obstáculo y otras veces se arrolla al hilo deteniendo bruscamente la marcha del globo, que llega a veces a abatirse contra el suelo.

El problema de determinar cuáles son la velocidad y la longitud de cuerda para las que se produce el arrollamiento, aun admitiendo la simplificación de despreciar la resistencia del aire, la rigidez de la cuerda y el resbalamiento de ésta sobre el obstáculo, ha resistido hasta ahora todos los intentos que los matemáticos han hecho para resolverlo.

Los dos procedimientos de obtención de una fuerza sustentadora, que llevamos referidos, son los que constituyen actualmente las dos ramas de la Aeronáutica, la Aerostación y la Aviación, que han permitido al hombre la realización de su eterna aspiración de surcar los aires. Los demás procedimientos que se han citado no han salido aún del campo de la teoría, pero, de todos modos, han debido ser objeto de estudio, contribuyendo a ellos las demás ciencias, para saber las dificultades que presentan y qué probabilidades hay de que alguna vez puedan ser vencidas, pues aunque hasta ahora pertenecen exclusivamente al dominio de la fantasía de los inventores, no puede negarse que tienen un fundamento cualitativo y que es aventurado asegurar que la imposibilidad cuantitativa que actualmente se opone a su aplicación práctica ha de resistir eternamente al avance continuo del progreso en todos los órdenes de la técnica.

El procedimiento *t-c* está fundado en la acción recíproca entre las cargas electrostáticas del aire y de la aeronave. Sabemos que el aire posee un potencial eléctrico, variable con el estado meteorológico, generalmente positivo, que representa una cierta carga eléctrica o cantidad de electricidad por metro cúbico de este gas; si la aeronave posee una superficie sustentadora horizontal, cuya cara inferior esté electrizada con el mismo signo que el aire ambiente y la cara superior con signo contrario, estando ambas separadas por una sustancia aisladora, se producirá una repulsión electrostática entre la capa inferior y la masa de aire situada por debajo, que será igual a la que ejercería sobre aquélla una carga eléctrica equivalente a la de un volumen *c* de base igual a la superficie sustentadora y de altura *z* de aire situada a una distancia *l*, y sobre la carga superior una repulsión que se calcularía análogamente. Al mismo tiempo, la cara superior ejercerá una atracción sobre la masa de aire situada por encima y una atracción sobre la situada por debajo, iguales y de signos contrarios a los anteriores.

Si llamamos V_s al potencial eléctrico de la superficie sustentadora, C_s a su capacidad de carga por metro cuadrado de superficie, *e* la separación entre ambas caras, que, para mayor simplificación, supondremos está ocupada por aire cuya constante dieléctrica es igual a la unidad, *s* la extensión de la superficie, C_a la capacidad eléctrica del aire por unidad de volumen y V_a el potencial electrostático del aire, las dimensiones de cada una de estas cantidades serán:

$$V_s \text{ y } V_a = L^{\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$$

$$C_s = \frac{1}{4\pi e} = L^{-1} \quad \text{y} \quad C_a = L^{-2}$$

La fuerza sustentadora obtenida como resultante de las acciones electrostáticas desarrolladas entre las masas de aire situadas por debajo y por encima de la superficie y las dos caras de ellas, es igual a:

$$Z = \frac{V_s s^2}{2\pi e} \frac{V_a C_a z}{l^2} \frac{2\frac{l}{e} + 1}{\left(\frac{l}{e} + 1\right)^2}$$

Este producto está compuesto de tres factores: el primero, correspondiente a la aeronave, de dimensiones $L^{\frac{7}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$; el segundo, correspondiente al medio ambiente, de dimensiones $L^{-\frac{5}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$; y el tercero, numérico, que varía entre cero y uno, según la relación entre el espesor del dieléctrico y la distancia a que actúa la carga eléctrica ficticia que se supone reemplazando el aire.

Las atracciones y repulsiones ejercidas por las caras de la superficie sustentadora sobre las moléculas del aire electrizado producirán en él una corriente descendente (viento eléctrico) cuya cantidad de movimiento por unidad de tiempo será equivalente a la fuerza sustentadora. Este cambio de moléculas en contacto con la superficie electrizada, unido a la ionización del aire por su estado eléctrico y por la acción de los rayos cósmicos, produciría una descarga continua del condensador constituido por la superficie sustentadora que habrá que reponer mediante una corriente entre ambas caras de intensidad igual a la pérdida de carga por unidad de tiempo y de potencia proporcional al cuadrado del voltaje. Esta consideración conduce a la

sustitución de la expresión anterior de la fuerza sustentadora por la siguiente:

$$Z = \frac{\sqrt{s^3 P}}{2\pi e} \frac{V_a C_a z}{l^2} \sqrt{R} \frac{2\frac{l}{e} + 1}{\left(\frac{l}{e} + 1\right)^2}$$

en la que *P* es la potencia necesaria para la sustentación y *R* la resistencia del medio ambiente a la descarga por unidad de superficie y medida en unidades electrostáticas de dimensiones *LT*. De este modo, el factor correspondiente a la aeronave tiene las dimensiones $L^3 M^{\frac{1}{2}} T^{-\frac{3}{2}}$, y el del medio ambiente $L^{-2} M^{\frac{1}{2}} T^{-\frac{1}{2}}$.

Aparte del inconveniente de que el factor correspondiente al medio ambiente es muy variable y hasta cambia de signo en ocasiones, este procedimiento, de todos modos, no puede, en el estado actual de la técnica, ser puesto en práctica por el pequeño valor absoluto que tiene este factor, lo que obligaría al empleo de superficies sustentadoras exageradamente extensas o de enormes potencias para obtener siempre una fuerza sustentadora que sería inferior al peso de la superficie o al del grupo electrógeno necesario.

Analizados los fundamentos de los procedimientos basados en la utilización del aire como medio sustentador, veremos ahora aquellos que tratan de resolver el mismo problema valiéndose de otros agentes sustentadores.

El procedimiento 2º de los que hemos citado se basa en la acción que produce un campo magnético sobre una corriente. Si la aeronave está dotada de un conductor recto horizontal, normal a la dirección del campo magnético terrestre, y por el cual pasa una corriente originada por una diferencia de potencial existente entre sus extremos, este conductor sufrirá una fuerza normal a él y al campo magnético terrestre, cuyo valor será:

$$Z = HIy = H \sqrt{\frac{sy}{R} P}$$

siendo *H* la intensidad del campo magnético, *I* la de la corriente, y la longitud del conductor, *s* su sección, *R* la resistividad del mismo y *P* la potencia desarrollada por la corriente eléctrica. Esta potencia no podría ser obtenida por un grupo electrógeno situado a bordo de la aeronave, porque esto exigiría un conductor de vuelta que originaría otra fuerza igual y contraria, y el resultado sería la formación de un par que tendería a colocar el plano del circuito normalmente al campo magnético, pero sin ninguna resultante sustentadora, de modo que hay que seguir el procedimiento de que la potencia *P* cree la diferencia de potencial entre los extremos del conductor sin cerrar el circuito, lo que se consigue por el movimiento del mismo conductor, normalmente al campo magnético, o a su componente horizontal, puesto que se trata de obtener una fuerza vertical, con lo cual la potencia será igual a *vZ*, siendo *v* la velocidad vertical del conductor.

La fuerza sustentadora obtenida será, pues, de valor:

$$Z = H \sqrt{\frac{sy}{R} P} \quad \text{o bien:} \quad Z = H^2 \frac{sy}{R} v,$$

según que venga expresada en función de la potencia o en función de la velocidad; el primero, que es el que principalmente nos dará idea de la posibilidad de este procedimiento, está compuesto de los factores: *H* correspondiente al medio am-

biente, de dimensiones $L^{-\frac{1}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-1}$, y el radical, de dimensiones $L^{\frac{3}{2}} M^{\frac{1}{2}} T^{-\frac{1}{2}}$, correspondiente a la aeronave.

El producto s y representa el volumen del conductor, que puede ser sustituido por su peso G , dividido por la densidad del material D , por lo que las expresiones anteriores pueden transformarse en:

$$Z = H \sqrt{\frac{GP}{DR}} \quad \text{y} \quad Z = H^2 \frac{Gv}{DR}$$

El aluminio es la sustancia en que el producto DR es el mínimo, que en unidades $C. G. S.$ tiene un valor de $76 \cdot 10^5$, y dando a la componente horizontal del campo magnético terrestre H el valor 0,3, algo superior al que tiene en España, y expresando P en caballos, Z y G en kilos y v en metros por segundo, resultan las expresiones:

$$Z = 0,01 \sqrt{GP} \quad \text{y} \quad Z = 1,17 \cdot 10^{-6} Gv$$

es decir, que para que el conductor, al cortar las líneas de fuerza del campo magnético terrestre, cree una fuerza sustentadora capaz de sostener su propio peso, necesita una velocidad de 855 kilómetros por segundo, y para obtener un kilo de sustentación por caballo, el peso del conductor habría de ser 10.000 veces mayor que la sustentación obtenida. Es evidente que mucho habrá de avanzar la técnica para que la sustentación electromagnética pueda ser practicable.

El procedimiento 3 utilizaría como punto de apoyo la energía radiante que envuelve a la Tierra. De todas las radiaciones que atraviesan el espacio atmosférico, la más intensa es la que nos envía el Sol en forma de luz y calor, que equivale, en el límite de la atmósfera terrestre, a $4,67 \cdot 10^{-5}$ ergios por centímetro cúbico. Esta energía radiante ejercerá, sobre una superficie reflectante que se oponga normalmente a su paso, una presión, según la ley de Maxwell y Bartoli, igual al producto de la densidad de energía por uno más el coeficiente de poder reflector de la superficie, lo que nos da: $Z = Ws(1 + \rho)$, siendo W la energía por unidad de volumen, s la superficie sustentadora y ρ su poder reflector.

Suponiendo que la superficie sea un espejo perfecto y que la radiación llegue normalmente a ella, se obtendría, aproximadamente, una dina por metro cuadrado, o sea, un kilo por kilómetro cuadrado. No podemos tampoco, por ahora, esperar grandes aplicaciones prácticas de la sustentación aeronáutica por medio de la energía radiante.

En este caso, el factor correspondiente al medio ambiente es su densidad de energía W , de dimensiones $L^{-1} M T^{-2}$, y el correspondiente a la aeronave es el producto de su superficie s por $(1 + \rho)$, cuyas dimensiones son L^2 .

Y nos queda por analizar el último procedimiento, el número 4, en el que se prescinde en absoluto del medio ambiente, creándose la aeronave con sus propios medios.

En éste, la fuerza sustentadora está originada por la proyección, fuera de la aeronave, de una masa continua con una cierta velocidad, y su valor es igual a la cantidad de movimiento de la masa m proyectada por unidad de tiempo:

$$Z = mv$$

La proyección de esta masa, con esta velocidad, representa un trabajo por unidad de tiempo, o sea, una potencia:

$$P = \frac{1}{2} mv^2$$

lo que nos permite expresar la sustentación Z en función de la potencia y de la velocidad de proyección en la fórmula siguiente:

$$Z = 2 \frac{P}{v}$$

o en función de la masa proyectada por unidad de tiempo:

$$Z = \sqrt{2 mP}$$

Si el trabajo de proyección está obtenido de la energía química de la propia masa proyectada, y si llamamos j a la cantidad de energía almacenada por unidad de peso de esta masa y ρ la parte proporcional de ella que se aprovecha para la sustentación, se obtiene esta otra expresión:

$$Z = mg \sqrt{2\rho \frac{j}{g}}$$

Cuando la sustentación por reacción se utiliza únicamente para sostener el peso de la aeronave, $mg = \frac{dZ}{dt}$, valor que,

sustituido en la fórmula anterior e integrado, da:

$$t = \sqrt{2\rho \frac{j}{g}} \log. \text{ nep. } \frac{G_0}{G_1}$$

siendo G_0 y G_1 los pesos de la aeronave en el momento inicial y al cabo del tiempo, t .

j tiene un valor de 1.352 kilómetros para la mezcla oxhídrica líquida, y si suponemos que el peso de la aeronave vacía sea la milésima parte del total, el tiempo que podría mantenerse en el

espacio sería, aproximadamente, de $\sqrt{\rho}$ horas, o sea, de media

hora para $\rho = \frac{1}{4}$. Utilizando el hidrógeno atómico, cuyo j es

20.604 kilómetros, el tiempo resultaría unas cuatro veces mayor.

Estas cantidades, y las condiciones necesarias para alcanzarlas, aun están lejos de permitir un empleo práctico para la navegación aérea de esta clase de propulsores; pero anuncian la posibilidad de que los progresos de la técnica lleguen algún día a dar la solución completa a la navegación aérea, y aun a la extraaérea, por medio de la propulsión de reacción. Así lo indican, también, los vuelos realizados por Oppel en avión impulsado por reacción, y la notable experiencia hecha recientemente por Tilling en el aerodromo de Tempelhof, en que un cohete ha alcanzado 800 metros de altura, hecho que se considera como «el primer paso hacia el infinito», y que seguramente pronto será seguido por otros de mayor importancia.

Únicamente mediante un profundo dominio de la Química para determinar la constitución de los explosivos más aptos para esta clase de propulsores; de las Teorías molecular y atómica para tratar de aprovechar, hasta el límite, todas las fuentes de energía por recónditas que estén; de la Termodinámica para estudiar el mejor rendimiento en el aprovechamiento útil de la energía disponible y la forma del tubo Laval, eyector de los gases producto de la explosión; de la Metalurgia, para fijar las condiciones y tratamientos de los metales que han de constituir el propulsor con las elevadísimas temperaturas desarrolladas en él; y de la multitud de las demás ciencias auxiliares, puede aspirarse a colaborar en el progreso de esta parte, la más prometidora y sugestiva de la Aeronáutica.

Y si, merced al avance conseguido, se llegase, por una propulsión continuada, hasta las regiones en que la resistencia del aire prácticamente desaparece, a alcanzar la velocidad de 11.178 metros por segundo de liberación de la acción de la gravedad, y aun más, la de 11.800 metros que, efectuándose la propulsión en el Ecuador con dirección Este y a media noche, bastan para lograr la liberación de la atracción solar, asombra pensar las perspectivas de fascinadora maravilla que se ofrecerán a la Aeronáutica, extrapolada hasta convertirse en Astronáutica, y los recursos que tendrían que proporcionarle las ciencias para resolver los múltiples problemas de la navegación extraterrestre, de orden físico, fisiológico y astronómico, entre ellos el famoso de los tres cuerpos, y, especialmente, el de su caso particular, el problema llamado «del asteroide», análogo al ofrecido por el movimiento de la «astronave» — según el término habitualmente adoptado — sometida a la doble acción del Sol y del astro origen o término del viaje. Este problema, aun reducido a su mayor simplificación, que es el del punto sometido a dos centros de atracción, y utilizándose las coordenadas elípticas, presenta una complicación extraordinaria. Todavía nos podríamos dejar arrastrar por la seducción del «más allá» del campo de la Aeronáutica, y suponer el caso en que el hombre llegue al aprovechamiento de la energía interatómica, o quizá a la desintegración de la materia, en que *j* llega a valer cuatro billones y medio de kilómetros; entonces las velocidades alcanzadas serán próximas a la de la luz, la curvatura del continuo espacio-tiempo se haría sentir en todos los problemas físico-químicos y fisiológicos de la navegación extraterrestre y ya los recursos de la Matemática y de la Mecánica clásicas serían insuficientes y habría que recurrir al auxilio del Cálculo tensorial, de las Geometrías no euclídeas y de más de tres dimensiones y de la Mecánica del espacio-tiempo que rige en el conjunto del Cosmos...; y, perdonadme, señores académicos, esta derivación transversal que me ha traído fuera del tema de la Aeronáutica, que a su vez lo es de la ciencia de la locomoción.

* * *

No sería justo limitarse en este trabajo a citar el auxilio que la Aeronáutica recibe de las Ciencias sin hacer mención de la valiosa ayuda que a las Ciencias devuelve la Aeronáutica.

La aplicación de la navegación aérea al progreso de Meteorología, explorando las condiciones físicas del aire a las diferentes alturas que el observador podía alcanzar a bordo de su aeronave, es tan antigua como la propia Aeronáutica; pero hasta fines del pasado siglo no se organizó metódicamente esta cooperación de la Aeronáutica a la Ciencia meteorológica con la aparición de la Comisión Internacional de Aerostación Científica, en cuyos trabajos tomaban parte aeronautas de casi todas las naciones, entre ellas España.

En toda Europa se efectuaban, a horas fijas en la primera semana de cada mes, sondeos aéreos por medio de globos tripulados, provistos de un completo instrumental meteorológico, que se elevaban hasta cinco o seis mil metros; globos sondas dotados de meteorógrafos registradores que recogían los datos aerológicos hasta alturas de 40 kilómetros, y de globos pilotos que, seguidos desde tierra con teodolitos, proporcionaban los datos anemométricos a diferentes alturas.

Los resultados de todas estas observaciones simultáneas eran reunidos en la oficina central, y del estudio de su conjunto ha nacido la moderna Meteorología dinámica.

La guerra destruyó en 1914 esta valiosa organización, que aun no ha sido reproducida, aunque en muchos países continúa aisladamente la cooperación estrecha entre la Aeronáutica y la Meteorología, utilizando para ello sondeos atmosféricos diarios

efectuados en avión, además de los globos sondas y pilotos habituales en todos los observatorios meteorológicos, efectuados con tal profusión en algunas naciones que han permitido la publicación de los mapas aerológicos de las altas capas de la atmósfera en ciertas regiones, como las «Upper Air Pilots Charts», de los Estados Unidos.

Un defecto tenía la cooperación aeronáutica a la Meteorología, que era la dificultad de emplearla en las grandes perturbaciones atmosféricas, precisamente cuándo más interesante era la exploración. Este defecto ha desaparecido con la Aviación sin motor por medio del vuelo a vela, que aprovecha para lanzarse al aire los momentos en que una depresión intensa, una tempestad, produce las más violentas corrientes ascendentes, que permiten a la débil navecilla aérea dejarse elevar por el viento, como una hoja seca, pero obedeciendo al mando de su piloto, que acompaña a la nube tormentosa, sumergido en su seno, durante el recorrido de la depresión. Esto ha permitido la obtención de datos preciosísimos recogidos dentro de los nimbus, desde su base hasta su penacho de falsos cirrus, acerca de los componentes vertical y horizontal del viento, temperatura y demás condiciones físicas que pueden ser obtenidas a bordo de estos livianos aviones veleros que prefieren y buscan el *storm-flight*, el vuelo en la tormenta, tan temido por las grandes aeronaves.

La contribución de la Aeronáutica a las Ciencias físicas es también importantísima y decisiva en algunos casos; cada aeronave, volando por la propulsión de su motor en unas condiciones atmosféricas que no son las habituales de la experimentación en tierra, puede ser considerada como un laboratorio de investigación en que se revelan constantemente propiedades físicas del medio ambiente, respecto a sus cualidades aerodinámicas, termodinámicas, como comburente, etc.; y estas observaciones serán tanto más interesantes cuanto a mayor altura sean hechas. El profesor Piccard, con sus dos ascensiones a 16 kilómetros de altura, o sea, cinco kilómetros dentro de la estratósfera, ha podido contribuir poderosamente al progreso de la Física determinando la composición, temperatura, humedad, potencial eléctrico, conductibilidad y movimiento del aire en aquellas regiones en que su presión se ha reducido a la décima parte de la que soportamos en nuestra vida corriente. Al mismo tiempo, la medida de la conductibilidad del aire en las diferentes alturas, hasta la alcanzada en esas dos ascensiones, indica su grado de ionización producido por las radiaciones que penetran la atmósfera hasta llegar a la capa considerada, las telúricas, de abajo a arriba, y las cósmicas, de arriba a abajo, además de la solar. La ley de repartición encontrada demuestra la procedencia cósmica de la radiación ultrapenetrante de Millikan, confirmando las experiencias efectuadas a diversas profundidades dentro del agua, y da idea de la intensidad esta radiación fuera de la atmósfera.

La Astronomía ha recibido también valiosas aportaciones por parte de la Aeronáutica, sobre todo en las observaciones de los eclipses de sol verificadas a bordo de aeronaves en las capas elevadas de la atmósfera, y de ellas, creo que las más completas y fecundas en resultados fueron las verificadas en Burgos durante el eclipse total de Sol de 1905, a bordo de tres globos libres que se elevaron a alturas de cuatro y cinco mil metros. Se efectuaron observaciones espectroscópicas y espectrográficas de la corona solar y del *flash*, meteorológicas del aire, bajo la influencia de la sombra lunar, se pudo marcar la posición de ella en momentos determinados en el amplio horizonte que ofrecía el elevado observatorio de que disfrutábamos, se dibujó la figura de la corona solar a aquella altura, y se obtuvieron fotografías de ella, que correspondían exactamente a los dibujos y fotografías obtenidos en tierra, comprobándose que la atmósfera

terrestre no influye para nada en el aspecto de la corona, y se estudió el fenómeno de las sombras volantes sobre una pantalla blanca colgada de la barquilla del globo en que tomé parte de aquellas ascensiones. Las bandas de sombra aparecieron, a aquella altura en que la atmósfera interpuesta entre el Sol y el observador se reducía a la mitad, como franjas unas siete veces más estrechas que las observadas en tierra, pero conservando su orientación y sus movimientos, lo que demostró de un modo decisivo el origen atmosférico debido a interferencias en las capas de aire de distinto índice de refracción, que tiene este curioso fenómeno hasta entonces de naturaleza desconocida.

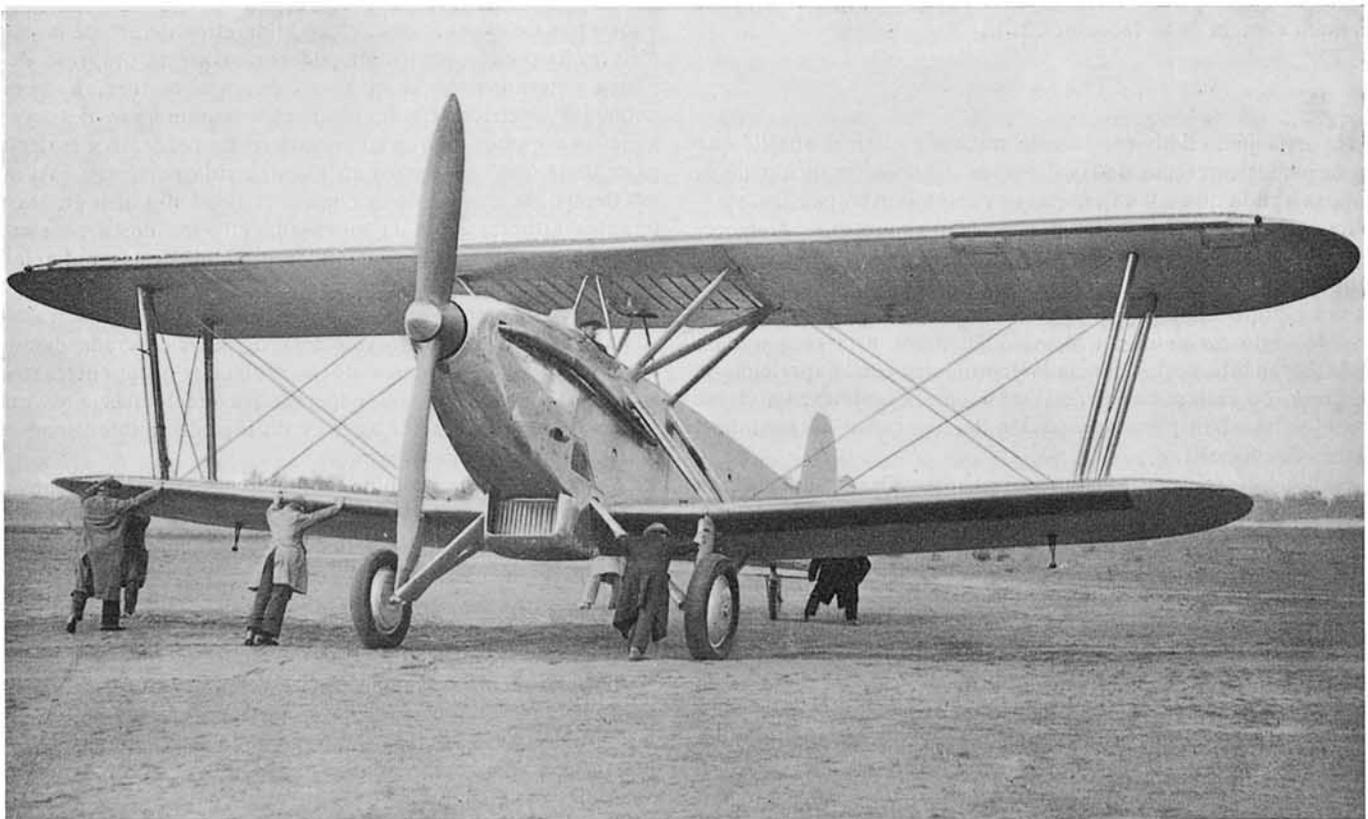
Al mismo tiempo, y aparte del interés científico de aquellas ascensiones, el cielo, que aparecía de un color azul oscuro, tachonado de estrellas, rodeando la deslumbradora corona solar que orlaba al disco negro de la luna, en el centro de la mancha suave de la luz zodiacal, y la inmensa extensión del horizonte visible, cubierto en parte por un mar de nubes, todo él iluminado por una macilenta luz violeta excepto los términos lejanos, situados fuera de la sombra lunar, en que brillaba la luz del día, todo ello ofrecía el espectáculo más maravilloso que puede imaginarse y que nunca se borrará de la memoria de los que participamos en aquella primera aportación de la Aeronáutica a la Ciencia astronómica.

Otras muchas contribuciones científicas de la Aeronáutica podrían citarse, por ejemplo, a las ciencias naturales, haciendo progresar la geografía por la exploración efectuada en las eficaces condiciones que ofrece la observación desde una aeronave, lo que ha permitido rectificar errores de cartografía y de orografía por el dirigible *Graf Zeppelin* en sus extensos viajes por terrenos no bien conocidos aún, como la tundra siberiana, la

Cordillera de Kubel, en el Extremo Oriente, las Islas de Nueva Zembla y Francisco José, en el Artico, y tantos otros; la observación aeronáutica ha permitido también determinar fácilmente la configuración geológica del suelo por la distribución de las diferentes capas, distinguiéndose claramente cuáles son accidentes orográficos debidos a la naturaleza y cuáles son los debidos a la mano del hombre, aunque procedan de épocas remotísimas, lo que es imposible o muy difícil de efectuar desde el mismo suelo; asimismo, la Aeronáutica proporciona el medio rápido de determinar, como cooperación a las ciencias biológicas, la distribución de las zonas de vegetación y su vigilancia para impedir la prolongación de los incendios forestales, la presencia de gérmenes orgánicos a las diferentes alturas de la atmósfera y sobre las distintas regiones, los efectos fisiológicos de las condiciones físicas de las altas regiones del aire en el cuerpo humano y en los animales, o los producidos por las aceleraciones verticales prolongadas; y, finalmente, hasta a las Matemáticas devuelve la Aeronáutica la ayuda que para su progreso recibe de ellas, proporcionando medios para la resolución de algunos problemas cuyo planteamiento puede ser facilitado por una experimentación previa.

Como ejemplo de este caso citaré una ascensión en globo libre efectuada por tres ilustres miembros de la Sociedad Matemática Española, uno de ellos el Sr. Terradas, que también lo es de esta Academia, a los que me correspondió el honor de acompañar como piloto; ascensión que tuvo por objeto estudiar prácticamente la oscilación de una cuerda de gran longitud para deducir consecuencias que facilitarían la resolución matemática del problema del péndulo continuo, cuyo planteamiento analítico en su caso general ofrece dificultades que parecen insuperables.

UN NUEVO TORPEDERO INGLÉS



Avión torpedero *Vickers*, motor *Rolls-Royce* «*Buzzard*», para buque portaviones.