

Las acciones de la Aviación a gran distancia

Por **Carlos M.^a R. de Valcárcel**
TENIENTE DE AVIACION

La magnitud de los actuales teatros de operaciones—continentes y océanos, desiertos y archipiélagos—, así como la universalidad de empleo y la enorme movilidad del aeroplano, la absoluta necesidad de llevar la ofensiva aérea a las rutas marítimas de abastecimiento del enemigo y a los lejanos objetivos del medular sistema económico-militar de las naciones en guerra (y aun de las “no beligerantes”), ha impuesto la obligatoriedad de resolver el grave problema de la autonomía a los Altos Mandos de las Aviaziones en pugna.

Dividiremos nuestro estudio en tres partes fundamentales: Primeramente, y tras la clásica definición de la autonomía, repensaremos la teoría matemática de la misma seguida de una noticia histórica sobre las conquistas de la Aeronáutica en este terreno tan fértil y vasto; la segunda parte la dedicaremos a hacer un sucinto estudio de los aparatos que, dotados de un gran radio de acción, ejecutan misiones a gran distancia de sus bases, tanto se trate de aviones militares como civiles; la última parte tratará del estudio propiamente dicho de tales operaciones o servicios.

PRIMERA PARTE

El problema de la economía.

La autonomía.—Uno de los más viejos problemas de la Aviación, entrevisto por el precursor Capitán Ferber—tanto en su aspecto militar como en el comercial—, es el de la autonomía de los aparatos. Su constante crecimiento ha preocupado de siempre a los técnicos, máxime si se tiene en cuenta que su determinación depende de toda una serie de factores—conocidos o determinables unos, imprevisibles otros—sumamente compleja.

La *autonomía máxima (de distancia)* es la mayor longitud recorrida que puede efectuar un aeroplano, supuesta la atmósfera en calma: *radio de acción* es la mitad de dicha autonomía.

La *autonomía máxima (horaria)* es el tiempo máximo durante el cual el aeroplano puede mantenerse en vuelo.

Ambas autonomías reconocen como límite el agotamiento de combustible.

Naturalmente, tanto el radio de acción como la duración del vuelo dependen de la velocidad, y aumentan en gran proporción a medida que ésta, partiendo de la velocidad máxima, disminuye.

La velocidad en que el radio de acción es máximo se llama *velocidad económica*, y puede admitirse que varía en proporción directa con el peso total del aparato. El consumo de combustible en kilos por kilómetro varía casi proporcionalmente con el peso total. Por consiguiente, cuando sea preciso hacer un cálculo de gran precisión, la velocidad económica y el consumo de combustible basta calcularlos para tres pesos totales, a saber: el del aeroplano con carga completa de combustible, a media carga y al finalizar el vuelo.

La velocidad económica (correspondiente al consumo mínimo por kilómetro) es la correlativa al ángulo de ataque de las alas en que la relación sustentación/resistencia total es máxima. Uno de los medios de hallarla gráficamente es trazar una tangente a la curva de la tracción, como indica Weick (1), partiendo del origen de coordenadas. El punto de tangencia dará así la velocidad económica. Herrera, en su *Aerotecnia*, indica un método análogo mediante el uso de un gráfico logarítmico y de su ingeniosa Regla de cálculo para aviones.

La mayor duración del vuelo se obtiene a la velocidad en que el consumo de combustible en litros por hora es menor; puede hallarse gráficamente trazando una tangente a la curva de tracción requerida, paralela al eje de abscisas.

En la práctica puede considerarse que el máximo radio de acción se obtendrá a una velocidad aproximadamente superior en un 40 por 100 a la velocidad de aterrizaje; la mayor duración de vuelo será obtenida a una velocidad inferior: aproximadamente un 15 ó 20 por 100 mayor que la velocidad de aterrizaje (2).

De los diferentes medios preconizados para el cálculo del radio de acción y duración de vuelo de un aeroplano hemos escogido aquellos que por su sencillez y precisión parecen más recomendables, sin que a la vez requieran ser tratados con una extensión que sería fuera de lugar en esta Revista. Por otra parte, solamente en casos excepcionales puede necesitarse una mayor precisión, y aun para este caso el ingeniero encontrará suficientes datos en los Manuales y textos en uso (Klein, Lafita, Mori, Warner, Herrera, Crocco, Diehl, Wood, Breguet, etc.).

Así como la máxima duración de vuelo ha perdido recientemente todo su interés, y actualmente ni se reconoce oficialmente su “récord”, el radio de acción máximo tiene una importancia muy grande, cada vez más acusada.

Máxima duración de vuelo y máxima distancia.—Para un cálculo rápido de ambas máximas, supondremos constantes el rendimiento de la hélice y el consumo específico (por kilómetro) del motor.

Con tales hipótesis y la de ausencia de viento, la máxima duración de vuelo se obtiene a la velocidad correspondiente a la mínima potencia, mientras que la máxima distancia se obtiene a la velocidad correspondiente a la mínima tracción, esto es, al máximo valor de la relación:

$$\frac{C_L}{C_r + L/S}$$

Donde

C_L = coeficiente de sustentación.
 C_r = de resistencia.
 L = sustentación.
 S = superficie alar.

- (1) F. E. Weick: “Aircraft Propeller Design”.
 (2) Klein: “Aerodinámica”.

Mori, en su *Manuale di Tecnica Aeronautica*, da las fórmulas siguientes:

a) Para la máxima duración de vuelo:

$$t = \frac{305}{\sqrt{G/S}} \left(2 \sqrt{\frac{G}{G-G_c}} - \sqrt{\frac{G_c-G}{G}} - 1 \right);$$

siendo

- G = peso total del avión en kilogramos.
- G_c = » del carburante (aceite y gasolina) en kilogramos.
- S = superficie alar en metros cuadrados.
- t = duración del vuelo en horas.

La figura A da los valores de t en función de G_c/G para varios valores de G/S .

b) Para la máxima distancia:

$$D = \frac{621 \eta}{C} \left(\frac{C_L}{C_r + L/S} \right)_{\max} \log . G_i / G_f;$$

donde

- C = consumo específico del motor (aceite y gasolina), en kilogramos, por cv/hora.
- G_i = peso total inicial del aparato en Kgs. = G .
- G_f = » » final » » (que vale, naturalmente, $G_i - G_c$, supuesto consumido todo el carburante cargado).
- D = máxima distancia en kilómetros.

La figura B da los valores de D para $C = 0,220$ en función de G_c/G_f , y para diversos valores de la relación entre paréntesis, y supuesto que el rendimiento de la hélice es $\eta = 0,65$.

Para otros valores de C y de η , la máxima distancia D , vale:

$$D_s = \frac{0,22 D \eta}{0,65 C};$$

siendo D la distancia correspondiente al par de valores

$$\begin{aligned} C &= 0,22 \\ \eta &= 0,65. \end{aligned}$$

Para un cálculo que abandone las hipótesis establecidas y tenga, por el contrario, en cuenta las variaciones del rendimiento de la hélice y del consumo específico del motor en función del número de vueltas, se procede como sigue (fig. C):

a) Para la máxima duración de vuelo.

Determinada la curva (1) de la potencia necesaria al nivel del mar en función de la velocidad y para el peso total G considerado, mediante la relación:

$$H_p = \rho_o \cdot D^3 \cdot V^3 \cdot \tau \cdot \eta^{-2}$$

de la curva característica de la hélice y de la del consumo específico del motor en función del número de revoluciones, se determinan, para varios valores de V , los correspondientes valores del rendimiento η de la hélice (curva 2), del número de vueltas del motor y consumo específico (curva 3).

Se podrá entonces trazar la curva (4) de los consumos ho-

rarios $W_a \cdot C/\eta$ en función de la velocidad para el peso a plena carga G y a cota cero, y cuando la velocidad V_o corresponde al mínimo consumo horario, es decir, a la máxima duración de vuelo.

De dicho consumo es ya fácil determinar los que corresponden a pesos intermedios y al peso mínimo final $G_f = G - G_c$, teniendo presente:

1) Que a una cota dada el mínimo consumo horario disminuye con la disminución del peso, según la misma ley por la que disminuye la potencia necesaria, pudiéndose mantener constante el consumo específico del motor y el rendimiento de la hélice. Lo primero se consigue mediante un uso racional del corrector; respecto a lo segundo, es fácil darse cuenta que si la velocidad efectiva aumenta con la altura en la relación $l/\sqrt{\delta}$ (siendo δ la densidad relativa del aire), el número de revoluciones de la hélice aumenta en la misma proporción, con lo que el factor de semejanza de la hélice queda constante ($\gamma = k$), lo que aparece evidentemente la constancia del rendimiento η .

2) Que el consumo mínimo horario para un peso dado se tiene a cota cero; luego la máxima duración de vuelo se tiene a dicha cota.

Si llevamos ahora a un diagrama los inversos de los consumos mínimos horarios en función del peso, el área $A B' C' D$ (figura D) nos da la duración del vuelo en horas.

b) Para la máxima distancia.

De la curva (4) de la figura C de los consumos horarios se pasa a la curva (5) de los consumos por kilómetro $W_a C/\eta V$ dividiendo las ordenadas de la curva anterior por los respectivos valores de la abscisa (velocidad). La velocidad V_o y el consumo correspondiente serán los de máxima autonomía para el peso a plena carga G del avión.

Los consumos mínimos por kilómetro para otros pesos intermedios y para el peso mínimo G_f se deducen fácilmente de los precedentes, teniendo presente que el consumo mínimo por kilómetro (específico) varía proporcionalmente al peso.

Llevando a un diagrama los inversos de dichos consumos mínimos específicos en función de los pesos correspondientes del aparato, el área $A B C D$ (fig. D) da el valor de la máxima distancia en kilómetros.

Conclusiones:

1) La velocidad de máxima distancia es algo superior a la de la tracción mínima.

2) La velocidad de máxima duración de vuelo es un poco superior a la de la mínima potencia.

3) La velocidad de máxima distancia es superior a la de máxima duración de vuelo.

La velocidad de máxima autonomía (que insistimos en que es actualmente la única interesante) puede determinarse mediante experiencias en vuelo que comprenden la determinación de la velocidad indicada, la altura de vuelo (midiendo la densidad del aire con el termógrafo y el barógrafo) y la cantidad de combustible consumido durante la prueba (alimentando los motores con un depósito especialmente tarado).

Llevando a un gráfico como el de la figura E los consumos por kilómetro obtenidos en función de la velocidad indicada, el punto A de mínimo consumo da la velocidad indicada de máxima autonomía de distancia.

Efecto del viento sobre la incidencia del vuelo de máxima distancia.—En el caso de viento en cola o de frente, la velocidad de máxima autonomía será, naturalmente, inferior o superior a la calculada, ya que ésta se ha obtenido supuesta la atmósfera en calma. Es un dato importante y muy digno de tenerse en cuenta para los vuelos largos.

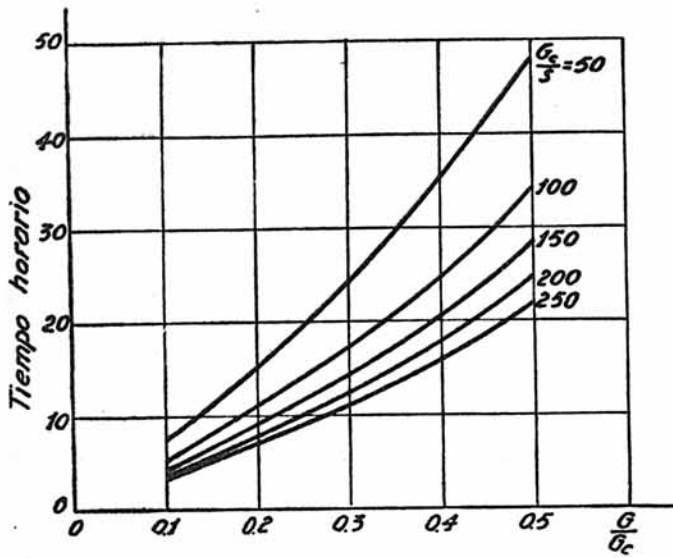


Fig. A.—Máxima autonomía de duración.

En ordenadas, el tiempo horario. En abscisas, la relación peso total del avión/peso del combustible.

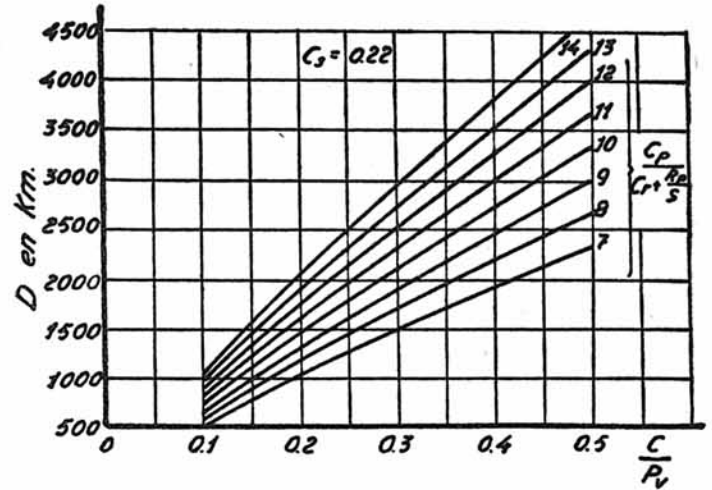


Fig. B.—Máxima autonomía de distancia.

En ordenadas, distancia máxima en kilómetros. En abscisas, relación del consumo específico del motor/ P_0 .

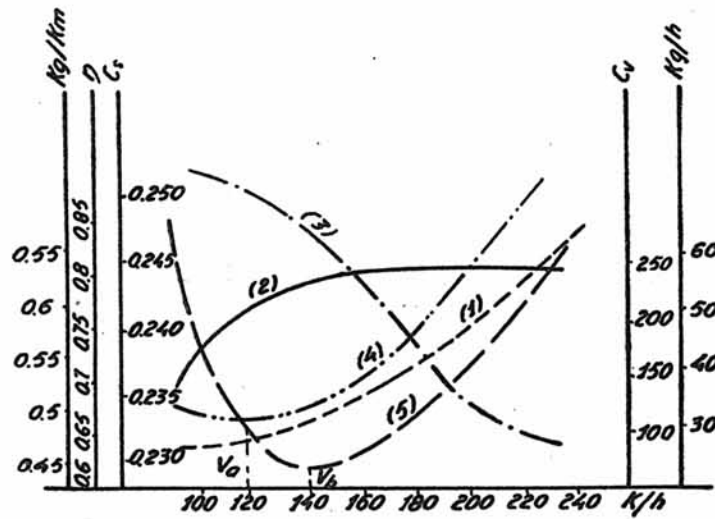


Fig. C.—Máxima autonomía.

Curvas de potencia necesaria y de los consumos horarios y específicos.

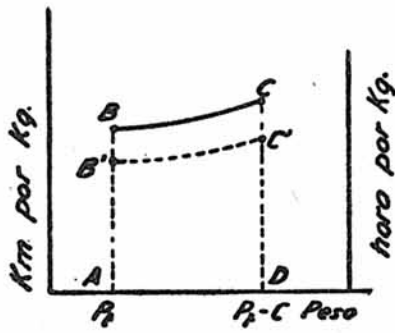


Fig. D.—Máxima autonomía.

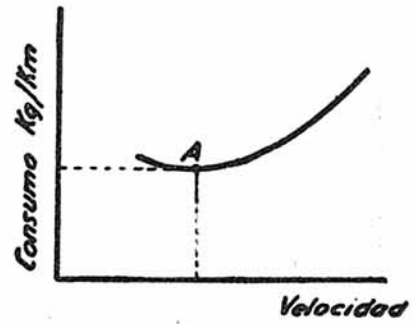


Fig. E.—Curva del consumo en función de la velocidad indicada.

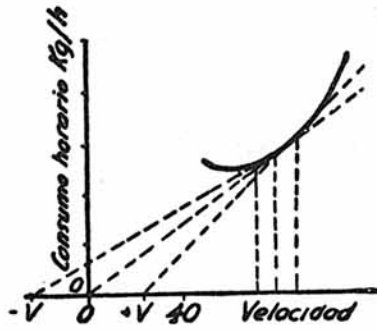


Fig. F.—Influencia del viento sobre la velocidad indicada de máxima autonomía de distancia.

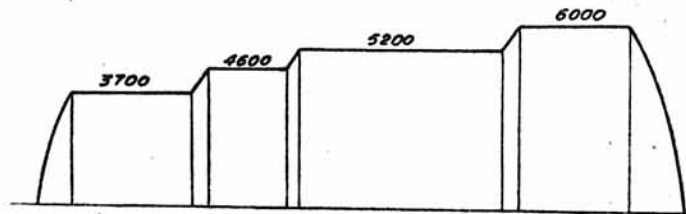


Fig. G.—Tabla de marcha.

Tiempos parciales...	30	2h 5'	7'	2h 24'	5'	7h	6'	2h 59'	50
Consumo bencina....	260	300	50	900	50	2.400	40	910	200 kgs.
Consumo aceite.....	20	130	5	50	5	175	5	75	20 "
Km. parciales.....	130	825	25	930	25	2.800	25	1.150	320 "

Tiempo total: 16h 4'.—Velocidad media: 384 km/h.

Velocidad efectiva en función de la carga.....	{ <table border="0"> <tr> <td>396</td> <td>400</td> <td>400</td> <td>388 km/h.</td> </tr> <tr> <td>392-400</td> <td>397-404</td> <td>392-409</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>1,09</td> <td>0,95</td> <td>0,85</td> <td>0,74 kg.</td> </tr> </table>	396	400	400	388 km/h.	392-400	397-404	392-409	—	1,09	0,95	0,85	0,74 kg.
396		400	400	388 km/h.									
392-400		397-404	392-409	—									
1,09	0,95	0,85	0,74 kg.										
Consumo kg/km.....	1,1-1,05	0,975	0,900	0,86-0,84	0,75-0,725								

Determinada, como ya hemos visto, la curva de los consumos horarios en función de la velocidad efectiva a cota cero, la velocidad indicada de máxima distancia viene dada por la abscisa del punto de tangencia con la tangente que sale del origen si el viento es nulo; si el viento es $\left\{ \begin{array}{l} \text{en cola} \\ \text{de frente} \end{array} \right\}$ y su velocidad es V , la velocidad indicada corresponde a las abscisas de los puntos de tangencia correspondientes a las tangentes salidas de los puntos $\left\{ \begin{array}{l} -V \\ +V \end{array} \right\}$.

Conclusiones finales.—De la teoría matemática expuesta (ver, para ampliación: Lafita: "Determinación de características de aviones"; Herrera: "Aerotecnia"; Klein: "Manual de Aerodinámica"; Mori: "Manuale di Tecnica Aeronautica"; Diehl: "Engineering Aerodynamics"; Weick: "Aircraft Propeller Design", etc.) deducimos las siguientes importantes conclusiones:

- 1) El consumo específico para un peso dado es independiente de la altura y varía solamente con la velocidad indicada (1).
- 2) A incidencia constante de vuelo, el consumo específico varía proporcionalmente al peso, pudiéndose decir lo mismo para el consumo específico mínimo.
- 3) A incidencia constante de vuelo, la velocidad indicada varía proporcionalmente a la raíz cuadrada del peso.
- 4) El consumo horario (y el consumo horario mínimo) para un peso dado y a incidencia constante, aumenta con la altura en la relación $1/\sqrt{h}$.
- 5) Para cualquier incidencia de vuelo, el consumo horario mínimo es a la cota cero.
- 6) A incidencia y a altura constantes, la velocidad efectiva (y la velocidad efectiva del mínimo consumo horario) varía en razón directa de la raíz cuadrada del peso.

Empleo del corrector para obtener el mínimo consumo horario y específico.—A fin de que los consumos horario y por kilómetro varíen con el peso y con la altura según las leyes arriba expuestas, es necesario hacer un uso racional del corrector.

Para ello, llevando el motor al régimen de revoluciones deseado con la sola maniobra de la maneta de gases, se abre el corrector lo suficiente para reducir en un 3 por 100 el número de vueltas, dando después gas hasta restablecer el régimen inicial.

La maniobra del corrector debe hacerse muy lentamente y teniendo en cuenta que durante ella el avión debe seguir una ruta perfectamente horizontal.

Gráfico de marcha.—Para comodidad del piloto, algunos aparatos llevan en el tablero un diagrama que indica las incidencias del vuelo con relación a una exigencia determinada (máxima autonomía de distancia o de duración de vuelo, máxima velocidad compatible con una disponibilidad determinada de carburante y con la distancia a recorrer, etc.). Con este gráfico a la vista, el piloto puede en todo momento comprobar si el servicio se desarrolla de acuerdo con las previsiones del consumo y de la distancia y tomar las precauciones oportu-

nas en el caso de que por condiciones atmosféricas adversas o circunstancias de fuerza mayor se hubiera tenido un consumo superior al previsto o haya que variar la longitud del trayecto estudiado. La figura G es una muestra de dicho diagrama de marcha.

* * *

Hasta aquí hemos tratado la cuestión de la autonomía desde un punto de vista estrictamente matemático, para deducir consecuencias muy interesantes con relación al grave problema económico que supone el consumo de carburante. Desde un punto de vista histórico, puede decirse que la resolución de la cuestión de la autonomía en vuelo empieza inmediatamente después de la guerra de 1914.

Bien es cierto que "las primeras marcas de distancia corresponden a los ensayos realizados sobre aerodromo por los prototipos de los precursores", como dice en su documentado artículo (REVISTA DE AERONAUTICA, núm. 13) el Teniente coronel Munáiz. "Así, el vuelo realizado por Alberto Santos Dumont en París, el 12 de noviembre de 1906, con su extraño biplano "canard", modelo XIV bis, motor *Antoinette*, estableció una marca inicial con un recorrido de 220 metros en línea recta; es decir, un brinco de saltamontes sobre una pradera utilizada como aerodromo. El piloto iba de pie y voló con sombrero hongo. El vuelo duró 21 segundos $1/5$, a una velocidad de 41 kilómetros-hora, y no se calculó la altura, apreciada en cinco o seis metros sobre el suelo."

Pero como para tantos aspectos de la Aviación, el progreso de la autonomía de los aparatos data de los años de la Gran Guerra; progreso íntimamente ligado al de los motores de explosión y a las conquistas de la Aerodinámica.

En el verano de 1919 se cruza por cuatro veces consecutivas el entonces temido y ya domeñado Océano Atlántico: primeramente un hidro *NC4*, de la Marina norteamericana, lo hace en varios días, desde San Juan de Terranova hasta Lisboa, vía las Azores, empleando el para nosotros absurdo tiempo de cincuenta y tres horas y media en salvar la distancia de 4.513 millas. Hawker y Grieve lo cruzan casi a la vez en un *Sopwith* biplaza. Los Capitanes Alcock y Brown vuelan en una sola etapa desde Terranova hasta Irlanda, cubriendo en dieciséis horas 1.890 millas en un *Vickers-Vimy*; entonces la velocidad media alcanzada fué de 210 km/h., y a su aterrizaje en el campo de Clifden aún llevaban gasolina en los depósitos para otras 800 millas. En julio del mismo memorable año, un dirigible inglés, el *R34*, voló desde la costa oriental de la Gran Bretaña hasta Nueva York, regresando poco después siguiendo una ruta algo más meridional. El 10 de diciembre de 1919, una *Vickers-Vimy* que había despegado de Hounslow, Inglaterra, el 12 de noviembre, aterrizó en Port-Darwin, al norte de Australia, después de un vuelo magistral que afamó para siempre al Capitán Sir Ross Smith. La enorme distancia de 11.300 millas fué cubierta en cuarenta y ocho horas de vuelo, y las etapas fueron: Lyon, Pisa, Roma, Nápoles, Tarento, Suda, Sollum, El Cairo, Damasco, Ramadieh, Bagdad, Basora, Bandar Abbas, Karachi, Nasirabad, Delhi, Allahabad, Calcuta, Akyab, Rangcon, Bangkok, Singora, Penang, Singapur, Banka, Kalidjatti, Samarang, Surabaya, Bali, Lombok, Bima, Reo, Larantuka, Atamboea y Port-Darwin (1).

(1) Velocidad efectiva de un avión es la de traslación respecto a un observador fijo en tierra.

Velocidad indicada es la que señala el anemómetro: es igual a la anterior multiplicada por la raíz cuadrada de la densidad relativa del aire.

Velocidad relativa es la del aeroplano respecto al aire en el cual se mueve.

(1) "Air Navigation", de H. E. Wimperis.

Estos vuelos transatlánticos y transcontinentales, pese a desarrollarse a lo largo de un rosario de innumerables etapas—junto con los intentos de batir los "récorde" de distancia en circuito cerrado, en línea recta y de trayecto establecidos por la Federación Aeronáutica Internacional—, son los que sirven de fundamento para ir resolviendo con gran rapidez y audacia el problema siempre vivo y candente de la autonomía; de esa época gloriosa de la Aviación mundial surge en los aviadores la comoción de estar más tiempo seguido en el aire, de cubrir de un solo alatezo más y más espacio, de suprimir en lo posible—con riesgo cierto de sus propias vidas, tan frecuente y alegremente sacrificadas—las múltiples servidumbres que imponen las etapas.

Los constructores y pilotos de todas las naciones—España en primerísimo lugar, con Franco y Gallarza, Ruiz de Alda y Durán, Jiménez e Iglesias, Estévez, Loriga, Barberán, Collar, Loring y tantos más—se afanan en la resolución de esta cuestión vital, y en un número de años relativamente corto los progresos de la navegación aérea, de la cartografía, de la meteorología, de la aerodinámica, de los motores; las investigaciones sobre los materiales ligeros—metales, aleaciones, maderas, productos sintéticos de insospechado porvenir—; las

mejoras de los aparatos de a bordo y la aplicación de los giróscopos al problema direccional; la constante superación, en una palabra, de la técnica aeronáutica, logran las espléndidas conquistas que suponen el cruceo de Italo Balbo, los vuelos al Polo, la travesía diaria y normal del Atlántico, la vuelta al mundo en un tiempo que no pudo soñar la fantasía de Phileas Fogg, el enlace de pabellones tan alejadas como Nueva York y Manila, Sidney y Londres, Berlín y Buenos Aires.

Los aviones de gran radio de acción sirven ya fines comerciales y guerreros al par con regularidad irreprochable. Cómodos, seguros, velocísimos, cruzan todos los paralelos de la Tierra y llevan la destrucción o el progreso a los puntos más distantes del planeta.

En la última década la Aeronáutica ha dado un avance inmenso en este sentido, y en estos días guerreros que vive el mundo, la consecuencia directa de la necesidad insobornable de la gran autonomía es el desarrollo del bimotor de combate, para acompañamiento de los bombarderos sobre zona enemiga, y del cuatrimotor de bombardeo pesado.

En nuestro próximo artículo estudiaremos el desenvolvimiento y evolución de los aviones de acción lejana que ejecutan misiones de guerra o cumplen fines comerciales.

