

tiene las ventajas del mayor volumen de fuego y barrera de mayor eficacia, así como la economía de personal y material. Tiene a su favor la consideración de la lenta producción del material de puntería y dirección del tiro. Otra razón en favor de la unidad de cuatro piezas es el frecuente entorpecimiento de una o más de ellas. La consiguiente reducción del volumen de fuego constituiría un serio handicap para la unidad de dos o tres piezas. Los inconvenientes de la unidad de cuatro son: que para un número dado de cañones, quedan cubiertos menos blancos, y es mayor la probabilidad de ser neutralizados por la Aviación de combate.

Llegamos a la conclusión, de que para defender un objetivo contra un ataque, de bombarderos por medio de Artillería anti-aérea, es esencial disponer de seis unidades de fuego, cada una de las cuales debe contar con cuatro piezas. Ello supone dis-

poner de 24 cañones, que es lo menos que se necesita para una defensa razonable.

Algunos expertos artilleros aeronáuticos propugnan la reducción del actual tipo de cuatro piezas por unidad de fuego. No existen ejercicios prácticos de tiro, más que los realizados con la actual organización de tres baterías a cuatro piezas. Para disponer de información y experiencia verdaderamente útiles, habría que efectuar ejercicios de tiro real suficientemente prolongados, incluso en combinación con unidades aéreas, y tomando al menos seis unidades de fuego de dos y de tres piezas. Ello puede realizarse agregando personal y material a los dos grupos anti-aéreos de que disponemos; uno llevaría seis unidades de tres piezas, y el otro, seis de dos, pudiendo así obtenerse resultados continuos para compararlos con los ya obtenidos con las unidades de tiro de a cuatro piezas.

La seguridad relativa de los aviones multimotores

Por KENDALL PERKINS

(*"Journal of the Aeronautical Sciences"*, enero 1936)

Sumario

HEMOS llegado a una determinación cuantitativa de la seguridad relativa de los aviones multimotores, en comparación con los monomotores, y sobre la base de la probabilidad matemática de aterrizajes forzosos debidos a defecto de motor. Hemos efectuado correcciones para el funcionamiento más seguro del grupo motopropulsor, la reducción de seguridad de funcionamiento debida a la sobrecarga de los motores restantes después de la parada de uno, y para la mayor probabilidad de que ocurra una primera parada de motor por haber aumentado el número de motores. Se desarrolla una ecuación general de probabilidades, y se dan curvas que muestran el número probable de viajes por cada aterrizaje forzoso, con aviones multimotores en diversas combinaciones, en parangón con la cifra correspondiente al avión monomotor. Los resultados se basan en cierto número de supuestos, los cuales, necesariamente, no son más que aproximados, pero entendemos que indican con una exactitud razonable la seguridad relativa de los aeroplanos multimotores.

Introducción

Hubo un tiempo—no muy remoto—en el que casi todo el relacionado con la Aviación admitía que la seguridad de los aviones

multimotores estaba aproximadamente en razón directa del número de motores que llevaban. Entonces se consideraba al trimotor inferior solamente a los aviones provistos de cuatro o más motores, y se creía fuera de lugar el intentar que el vuelo pudiera mantenerse teniendo en marcha sólo la mitad de los motores. Ahora han entrado en liza varios factores que han modificado la situación, y actualmente admite casi todo el mundo que la seguridad relativa de las diversas combinaciones posibles se rige por el orden siguiente (1):

- a) Aviones tetramotores que pueden mantener la altura de vuelo con un solo motor.
- b) Trimotores que pueden mantener la altura con un solo motor.
- c) Tetramotores que pueden mantener la altura con dos motores.
- d) Bimotores que pueden mantener la altura con un motor.
- e) Trimotores que pueden mantener la altura con dos motores.
- f) Tetramotores que pueden mantener la altura con tres motores.

(1) Donald W. Douglas, conferencia sobre "La seguridad y perfección de los modernos transportes multimotores, en especial después de avería de motor", pronunciada ante la Royal Aeronautical Society en mayo de 1935, y reproducida en el *Journal of the Aeronautical Sciences* en julio del mismo año.



La compañía suiza *Swissair* ha adquirido para sus servicios un avión *Junkers Ju. 86*, provisto de dos motores *Junkers Jumo* de aceite pesado. El avión en vuelo sobre los bosques alpinos.

g) Monomotores que necesitan un motor para mantener la altura.

h) Bimotores que necesitan los dos motores para mantenerla.

i) Trimotores que necesitan los tres motores.

j) Tetramotores que necesitan los cuatro.

Debido a los recientes y rápidos progresos en finura aerodinámica, es ahora factible operar a una altura conveniente con sólo la mitad de los motores en marcha, y ello ha sido posible por la adopción de las combinaciones citadas c) y d), las cuales, con una o dos excepciones, no fueron realizables anteriormente. El empleo de hélices de paso reglable ha contribuido mucho a ello, y con las hélices automáticas de velocidad constante, sobre todo las que pueden ponerse sin incidencia cuando el motor se para, se espera un rendimiento todavía mayor. Con el empleo de estas hélices, sería perfectamente factible volar a las alturas aproximadamente normales de utilización, o a alturas menores, sin llevar a pleno gas los motores restantes, incluso cuando la mitad de los motores ha dejado de funcionar.

La mayor seguridad de marcha de los grupos motopropulsores ha acrecido también la seguridad relativa de los aviones que llevan varios, porque la relación de seguridad contra aterrizajes forzosos debidos a parada de motor en un avión multimotor, comparada con la del monomotor, aumenta rápidamente a medida que aumenta la seguridad de marcha del motor único. Hace diez años era corriente sufrir un aterrizaje forzado por avería de motor, en un viaje de cada treinta, próximamente. Los presentes grupos motores son tan superiores en este aspecto, que el promedio para los aviones monomotores en las líneas aéreas regulares, es de un aterrizaje por cada 500 viajes. Esta cifra se determina de este modo (1):

Número de aterrizajes forzosos en los servicios regulares, entre el 22 de agosto de 1933 y el 6 de julio de 1934, por averías de motores o accesorios	280
Número de aterrizajes forzosos debidos a las hélices, entre las mismas fechas	28
Total para el período anterior (319 días).....	308
Número efectivo de aterrizajes forzosos debidos al grupo motopropulsor, en servicios regulares, por año: $308 \times 365/319$	352
Número aproximado de kilómetros volados en servicio regular entre julio de 1933 y junio de 1934.....	80.000.000
Longitud equivalente de cada viaje en kilómetros, suponiendo que todos los aviones fuesen monomotores.....	480
Número aproximado de viajes con aviones monomotores por cada aterrizaje forzado debido a avería de motor o hélice: igual al número de kilómetros volados cada año, partido por el número de kilómetros de cada viaje y por el número de aterrizajes forzosos = $80.000.000 / (480 \times 352)$	474

Factores de corrección

Para reflejar en expresiones numéricas la seguridad relativa de los aviones multimotores, se ha hecho, cuando menos, un intento (2). Esta investigación se ha basado en una probabilidad puramente teórica, y la seguridad de marcha de cada motor se admitió solamente de 0,03 (un aterrizaje forzado por cada 33,3 viajes), cifra deducida de una experiencia muy antigua, y que hoy arroja un resultado completamente equivocado. Para determinar las cifras que concuerdan con la experiencia actual, hay que tener también en cuenta otros varios factores.

Uno de ellos es, que cuando un motor se para, recae sobre los demás un exceso de trabajo que los hace menos seguros. No parece haber fuente alguna de información que suministre el valor numérico de esta disminución de seguridad, pero es posible llegar a una aproximación examinando la relación entre el período comprendido entre dos revisiones de un motor y la potencia que ha desarrollado. El período entre revisiones, que, de acuerdo con la experiencia, se ha establecido muy correctamente para los motores del material de línea, es bastante breve cuando se ha em-

pleado un alto porcentaje de la potencia total del motor, pero aumenta rápidamente cuando se reduce el porcentaje empleado de dicha potencia. Parece razonable suponer que la base para esta relación ha sido el deseo de aproximarse a una seguridad de funcionamiento constante, y si esto es así, entonces la seguridad de un motor determinado dependerá de los caballos-vapor desarrollados, pero de un modo inverso a la variación del período entre revisiones. Por supuesto, esta variación depende también algo de cada tipo particular de motor, pero aquí tomaremos solamente cifras de valor medio. También se discuten solamente los motores, prescindiendo de las hélices y accesorios, sobre los que existe muy escasa información. Se supone que éstos tienen también una variación semejante, aunque no tan rápida, en relación con la potencia desarrollada por el motor.

Otro factor a considerar es, que después de una parada de motor, la velocidad de crucero disminuye, y por ello, el tiempo de vuelo que queda se hace mayor. Esta corrección es pequeña en comparación con la debida al aumento de trabajo, arriba explicada, y a falta de un sistema mejor, se admite que esta corrección por velocidad reducida queda compensada por el hecho de que la seguridad del equipo motopropulsor completo no varía tan rápidamente como la de un motor solo. De esta manera se ha desarrollado un factor de corrección combinado, sobre la base de la seguridad de marcha del motor solamente, como se ve en la figura 1, en la que el factor *F*, probabilidad relativa de parada de los motores restantes, se ha coordinado con la potencia desarrollada por los motores restantes, para diversos valores de la potencia normal de crucero.

Otro factor frecuentemente examinado al estimar la seguridad relativa de los aviones multimotores, es el hecho de que la presencia de varios motores aumenta la probabilidad de una primera parada de motor, proporcionalmente al número de aquéllos. Así, un avión tetramotor emplea cuatro veces más horas de motor por viaje, que un monomotor de igual velocidad, y por lo tanto, aquel presenta cuatro veces más probabilidad de sufrir una parada de motor. Si la seguridad de marcha de los motores fuese suficientemente pobre, podríamos perfectamente llegar a la consecuencia de que un tetramotor sería menos seguro que un monomotor, y que el avión que llevase más motores sería el menos seguro.

Supuestos

Por la complicación del problema, no es posible tratar matemáticamente todos los factores que influyen en la seguridad, y es necesario partir de varios supuestos. Estableceremos los siguientes:

1.º Se desprecia la mayor probabilidad de parada del motor en el despegue. Esto no introduce un gran error, ya que el avión que es más seguro en funcionamiento normal, es también el más seguro en el despegue.

2.º Se suponen idénticas las velocidades de explotación de todos los aviones comparables. Actualmente, cuando se pueden elegir varias combinaciones de motores en un avión dado, puede despreciarse la diferencia de velocidad debida al número elegido de motores. Para nuestro objeto de momento, no es preciso comparar unos con otros los aparatos de características generales y tipo muy diferentes.

3.º Se supone que la seguridad de marcha de un grupo motopropulsor es la misma cuando se le instala en un monomotor, que en un multimotor. Esto es cierto si los grupos son completamente independientes, pero no podría estrictamente aplicarse a multimotores en los que los sistemas de lubricación y alimentación son únicos, o que tienen accesorios comunes.

4.º Se supone que siempre que ocurre una parada de motor, continúa el vuelo hasta el punto de destino, siempre que ello sea posible. En la realidad, en muchos casos el avión se detiene en un aerodromo eventual o retrocede al punto de partida, pero el error de considerar como aterrizajes forzosos a estos incidentes, no tiene importancia, salvo cuando ocurren a muy corta distancia del punto de partida, y en este caso, el multimotor se mostraría aun más conveniente que el monomotor.

(1) Air Commerce Bulletin del Departamento de Comercio, 15 de octubre de 1934, pág. 90.

(2) Informe número 3.314 (24 de marzo de 1928) de la T. P. Wright, Curtiss Aeroplane & Motor Co.

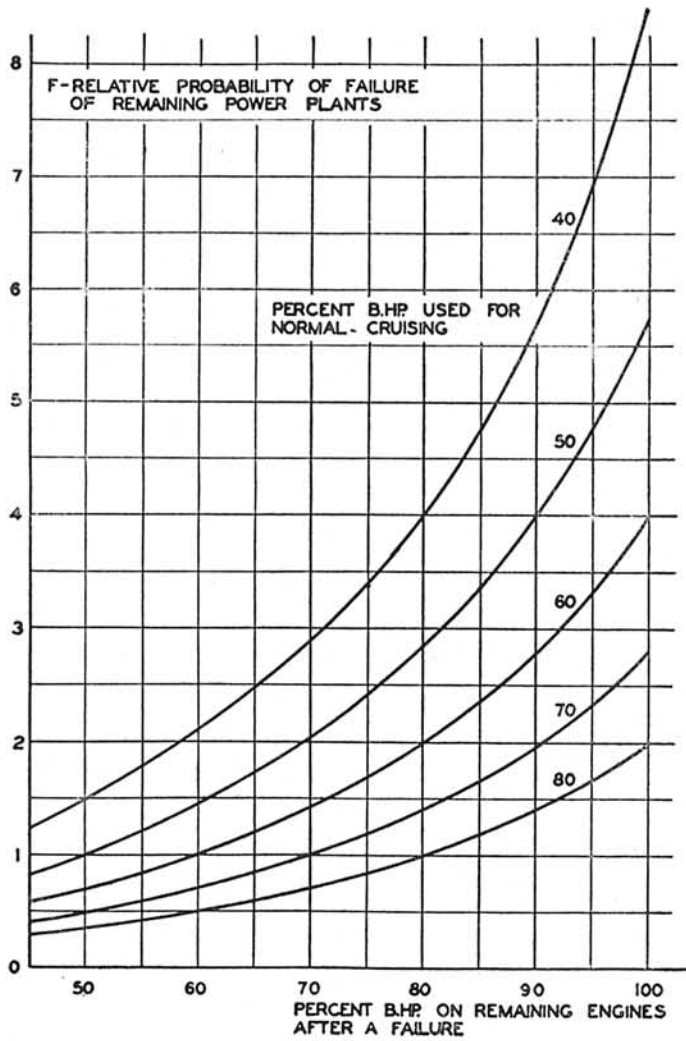


Fig. 1.—Probabilidad relativa de parada en los motores restantes, en función del tanto por ciento de cv. nominales antes y después de la primera parada. En las ordenadas, probabilidad relativa de parada en los motores restantes; en las abscisas, porcentaje de cv. en los motores restantes, después de una parada; en las curvas, porcentaje de cv. empleados en crucero normalmente.

5.º El porcentaje de cv. empleados en crucero se supone del 60 por 100, y el porcentaje de cv. empleados después de la parada de un motor se admite que varía como la raíz cuadrada de la relación entre los números de motores que funcionan antes y después de la avería. Así, la potencia del motor restante en un bimotor sería de $0,60 \times \sqrt{2} = 0,85$, después de la parada de uno de los motores. Se hace este supuesto en relación con cualquier avión tipo actual; pero se hace precisa alguna hipótesis semejante, que represente un avión medio del futuro.

Determinación de la ecuación

Con objeto de establecer una ecuación general de la seguridad, utilizaremos primero como ejemplo los siguientes casos típicos:

Caso 1.º—Avión monomotor que necesita un motor para mantener la altura de vuelo.

Caso 2.º—Bimotor que necesita un motor para mantener la altura.

Caso 3.º—Trimotor que necesita tres motores para mantenerla.

Caso 4.º—Tetramotor que necesita tres motores.

Caso 5.º—Tetramotor que necesita dos.

Para apreciar mejor de una ojeada la cuestión, hemos trazado la figura 2. En ella se representa gráficamente cada uno de los cinco casos supuestos. En cada gráfico, la ordenada es el número

de motores en marcha, y la abscisa, la probabilidad de terminar el vuelo de longitud normal, con los motores que quedan funcionando. Empleamos la nomenclatura siguiente:

- K = Probabilidades de aterrizaje forzoso por avería de motor, por cada viaje a la velocidad de crucero, igual a 1 partido por el número de viajes por aterrizaje forzoso.
- k = Probabilidad de una parada de motor por viaje a la velocidad de crucero, igual a 1 partido por el número probable de viajes por parada de motor.
- n = Número de grupos motopropulsores instalados.
- m = Número de paradas de motor necesarias para producir un aterrizaje forzoso.
- F_1 = Factor de corrección de probabilidad por el mayor porcentaje de cv. desarrollados en los motores restantes después de la primera parada de motor.
- F_2 = Mismo factor anterior, pero para después de la parada del segundo motor, etc.

Las abscisas de los diagramas de la figura 2 no deben considerarse directamente como distancia o tiempo, ya que una parada de motor es prácticamente tan probable al principio de un viaje como cerca del final. El significado de esto es que después de la primera parada de motor, el viaje *medio* que han de cubrir los restantes motores sólo es la mitad de largo que el viaje original. Por consiguiente, al determinar el factor de probabilidad después de la primera parada de motor, se ha aplicado un factor de $\frac{1}{2}$.

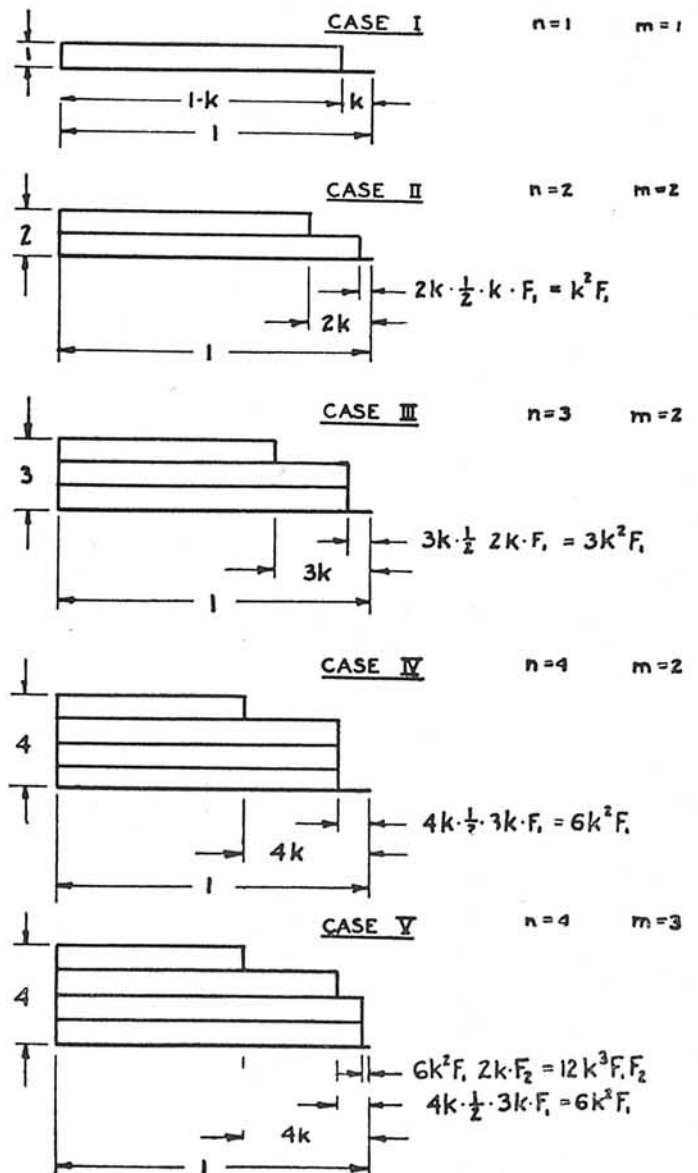


Fig. 2.—Derivación esquemática de las ecuaciones (No están a escala). De arriba abajo, la representación de los cinco casos citados en el texto.

En el caso 1.º es obvio, por definición, que la probabilidad de aterrizaje forzoso debido a parada de motor es k , y análogamente, la probabilidad de realizar un viaje dado sin aterrizaje forzoso, es $1 - k$.

En el caso 2.º, la primera parada de motor es doblemente pro-

bable, o sea $2k$. En los viajes en que ocurren estas paradas, se supone que el avión sigue con el motor restante, y el caso queda tan sencillo como el de un monomotor, exceptuando que el motor trabajará a velocidad superior a la normal de crucero, y, por tanto, se empleará el factor F_1 . La probabilidad de un aterrizaje forzoso será, por consiguiente:

$$K = 2k \times \frac{1}{2} \times k \times F_1 = k^2 F_1.$$

Las fórmulas para los casos 3.º, 4.º y 5.º, se desarrollan de modo semejante, y se muestran en la figura 2. Ahora es posible desarrollar una ecuación general para cualquier combinación de multimotor:

$$K = \frac{k^m (n-1)(n-2) \dots (n-m+1) (F_1 F_2 \dots F_{m-1})}{2}$$

Empleando esta ecuación en combinación con la figura 1, se ha calculado en la Tabla I la seguridad de cada una de las combinaciones desde la a) hasta la j), y los resultados se han llevado gráficamente a la figura 3.

Conclusiones

Del examen de la figura 3 se deducen las conclusiones siguientes:

- 1.º Un avión monomotor con un grupo motopropulsor de excelente seguridad de marcha, puede estar expuesto a menos aterrizajes forzosos que otro avión equipado con varios motores de deficiente seguridad.
- 2.º Suponiendo un grupo único motopropulsor con una seguridad de marcha de 500 viajes por cada parada de motor, los aviones multimotores son muchas veces más seguros que los monomotores, siempre que puedan volar con algún o algunos motores parados, en la siguiente proporción:

Avión tetramotor que puede mantener la altura de vuelo con tres motores (caso f).....	65 veces.
Avión trimotor que puede volar con dos motores (caso e).....	100 »
Avión bimotor que puede volar con un motor (caso d)	240 »
Avión tetramotor que puede volar con dos motores (caso c).....	6,500 »

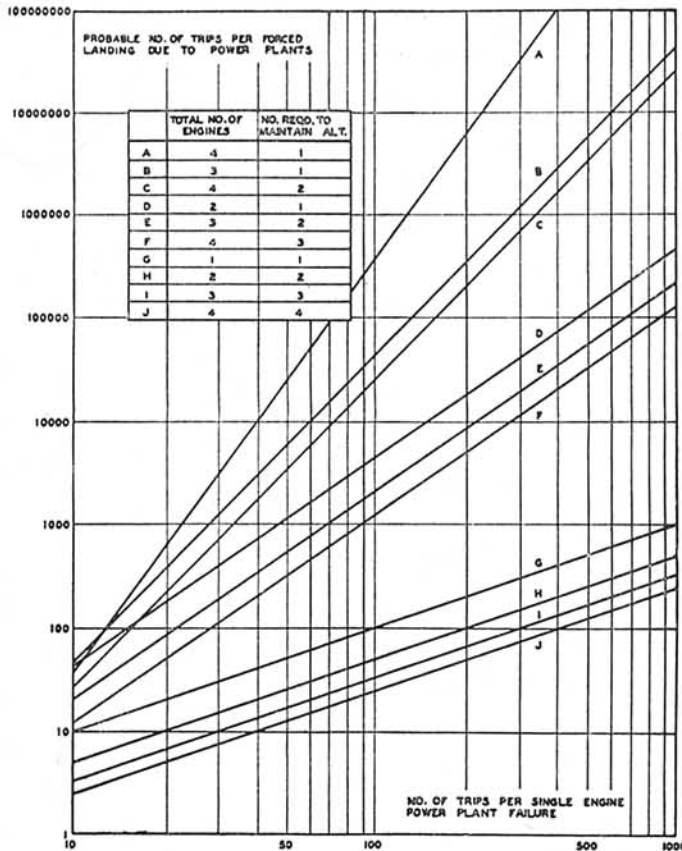


Fig. 3.—Número probable de viajes por cada aterrizaje forzoso debido a parada de motor (en ordenadas); número de viajes por cada parada de motor (en abscisas), o bien, número de viajes por cada aterrizaje forzoso debido a parada de motor en avión monomotor.

TABLA I

CASOS	a)	b)	c)	d)	e)	f)	g)	h)	i)	j)
n = Número de motores.....	4	3	4	2	3	4	1	2	3	4
Idem de motores necesarios para mantener la altura.....	1	1	2	1	2	3	1	2	3	4
m = Número de paradas que obligan a tomar tierra.....	4	3	3	2	2	2	1	1	1	1
$n - 1$	3	2	3	1	2	3	0	1	2	3
$m - 1$	3	2	2	1	1	1	0	0	0	0
$n - m + 1$	1	1	2	1	2	3	1	2	3	4
$n(n-1)(n-2) \dots (n-m+1)$	24	6	24	2	6	12	1	2	3	4
Proporción número motores después de pararse uno.....	1,333	1,5	1,333	2,000	1,500	1,333	—	—	—	—
Idem id. id. después de pararse dos.....	2,000	3,000	2,000	—	—	—	—	—	—	—
Idem id. id. después de pararse tres.....	4,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—
% de cv. después de pararse uno.....	0,993	0,735	0,693	0,848	0,735	0,693	—	—	—	—
Idem de id. después de pararse dos.....	0,848	1,039	0,848	—	—	—	—	—	—	—
Idem de id. después de pararse tres.....	1,200	—	—	—	—	—	—	—	—	—
F_1 (de la fig. 1).....	1,40	1,64	1,40	2,36	1,64	1,40	—	—	—	—
F_2	2,36	4,70	2,36	—	—	—	—	—	—	—
F_3	7,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$F_1 F_2 F_3 / 2$	11,60	3,86	1,65	1,18	0,82	0,70	1,0*	1,0*	1,0*	1,0*
k^m (cuando $k = 0,1$).....	0,0001	0,001	0,001	0,01	0,01	0,01	0,1	0,1	0,1	0,1
K (» $k = 0,1$).....	0,0278	0,0232	0,0396	0,0236	0,0492	0,0840	0,1	0,2	0,3	0,4
$1/K$ (» $k = 0,1$).....	36,0	43,1	25,3	42,4	20,3	11,9	10,0	5,0	3,3	2,5
$1/K$ (» $k = 0,01$).....	300.000	43.100	25.300	4.240	2.030	1.190	100	50	33	25
$1/K$ (» $k = 0,001$).....	3.000.000.000	43.100.000	25.300.000	424.000	203.000	119.000	1.000	500	330	250

* No se emplea para éstos el factor 1/2, porque la primera parada de motor ocasiona el aterrizaje forzoso inmediato, y la longitud restante del viaje deja ya de ser un factor.