

Aerotecnia

Método alemán para la determinación de las características de despegue y aterrizaje de los aviones

Por VICENTE ROA MIRANDA

Comandante de Aviación e Ingeniero Aeronáutico.

ENTRE las condiciones que se exigen a los aviones, figuran algunas referentes a las cualidades de despegue y aterrizaje: longitudes de rodadura, tiempos de despegue, velocidades en la trayectoria al despegar y aterrizar, velocidad ascensional al despegar y otras.

La C. I. N. A. exige para la expedición del Certificado de Navegabilidad, que el avión al despegar pueda saltar un obstáculo de 20 metros de altura, situado a 650 metros del punto en que el avión inicia la rodadura, y además, que la velocidad ascensional en la trayectoria de despegue sea como mínimo de 0,8 metros por segundo.

Estas exigencias se justifican por la necesidad de que los aviones puedan entrar y salir de los aerodromos, permanentes o eventuales, sin grave riesgo para sus tripulantes. Si se dispusiese de una gran cantidad de aerodromos y éstos fuesen extensos y llanos sin ondulaciones ni resaltes, con alrededores despejados, sin arbolado, edificaciones u otros obstáculos, las condiciones mencionadas tendrían escasa importancia. Desgraciadamente, una gran parte de los aerodromos no se encuentran en las circunstancias indicadas, y en muchos casos, están situados dentro de zonas pobladas con extensión bastante limitada. Por ello se precisa exigir a los aviones determinadas garantías mínimas de seguridad, y de aquí la necesidad de conocer si aquéllos cumplen o no las condiciones que se les imponen en el despegue y aterrizaje.

Es evidente que partiendo de las características de un aeroplano, se pueden determinar por el cálculo sus condiciones de vuelo durante la subida. No sucede lo mismo en lo que se refiere al despegue y aterrizaje, por cuanto en ellos intervienen otros factores, como las condiciones del terreno y la habilidad del piloto, que son muy variables.

Aunque dichas cualidades de despegue y aterrizaje no se puedan determinar de una forma rigurosa, existen medios y fórmulas que permiten conocer aquellas cualidades con suficiente aproximación. Estas características dependen de las condiciones atmosféricas del día en que se realicen las pruebas, y para poder compararlas, es preciso referirlas a unas condiciones atmosféricas tipo (viento en calma, densidad del aire 1.225 kilogramos por metro cúbico). Con este fin se utilizan en Alemania las fórmulas de despegue de H. Blenk, y para simplificar los cálculos, el Instituto Alemán de Investigaciones Aeronáuticas (Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt - D. V. L.) ha

establecido unos nomogramas que permiten obtener los resultados con bastante rapidez y exactitud suficiente.

El procedimiento que sigue dicho Instituto para la determinación de las características de despegue y aterrizaje es el siguiente:

Una cámara fotográfica especial, sistema D. V. L., permite medir las longitudes de rodadura, las alturas del avión sobre el horizonte en un instante dado, los tiempos, y, por consiguiente, las velocidades horizontales y ascen-

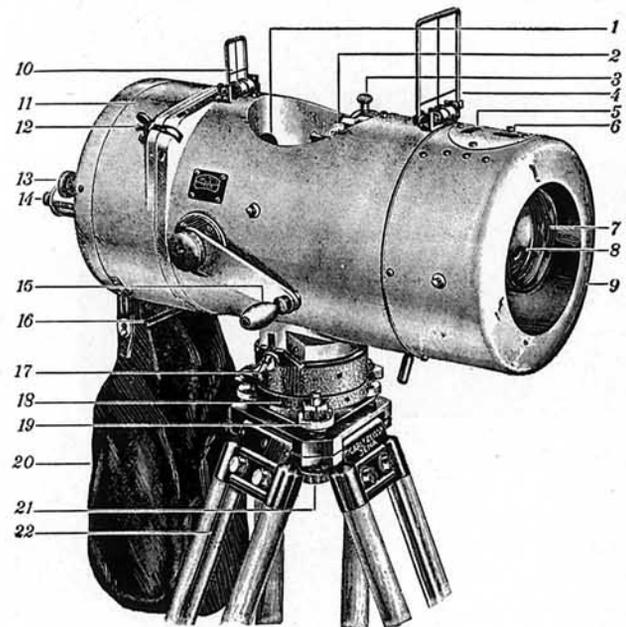


Fig. 1. — Cámara fotográfica D. V. L., especialmente construida para registrar el proceso de despegue y aterrizaje de los aviones.

sionales al despegar, en las condiciones del día de la prueba, es decir, para un viento dado y una presión atmosférica conocida. Con todos estos datos, se obtienen las características de despegue y aterrizaje en atmósfera tipo, por medio de las fórmulas y nomogramas que a continuación se insertan.

La cámara de medida (fig. 1) consta en principio de una caja cilíndrica de metal ligero, en cuya parte anterior se encuentra un objetivo Teletessar (8) de abertura $f : 63$, y distancia focal $f = 40$ centímetros. Dicho objetivo está levantado con relación al centro de la imagen, de tal forma, que para el campo de la imagen que se encuentra

por debajo del horizonte, se dispone solamente de un centímetro de altura de la misma, mientras que la parte por encima del horizonte, en la que se desarrollan los procesos a medir, dispone de ocho centímetros de altura de imagen.

En el centro de la caja se encuentra un cronómetro (3) con lectura de $\frac{1}{50}$ de segundo y una plaquita blanca (2) con las notas referentes al proceso de medida de cada caso. El cronómetro y la plaquita se fotografían también

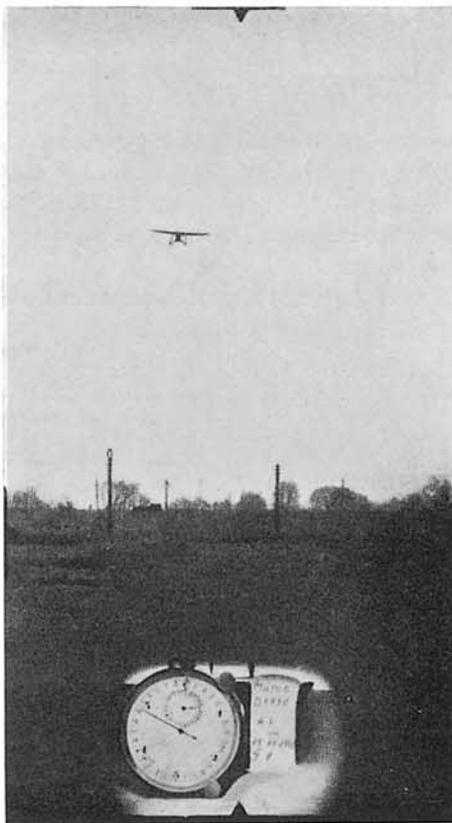


Fig. 2. — Fotografía de un ensayo de despegue obtenida con la cámara fotográfica D. V. L., ideada expresamente para tal fin.

en la película por el objetivo (1) simultáneamente con la fotografía del avión (figura 2).

Sobre la caja de la cámara se encuentran los visores plegables (4) y (10) para el enfoque rápido y los niveles (5) y (6) para situar la cámara en posición horizontal.

La película de 12,50 metros de longitud y ocho centímetros de ancho, es suficiente para 80 impresiones seguidas del tamaño 7×12 , es decir, para cuatro mediciones de despegue y aterrizaje.

Para efectuar una medida de despegue y aterrizaje, se requiere en primer lugar que los aviones despeguen y aterricen contra el viento. La cámara se sitúa y nivela 50 a 100 metros detrás del avión parado, ambos en la alineación del viento y de tal forma que el plano de la imagen sea perpendicular a la proyección horizontal del eje longitudinal del avión. Se hace una exposición antes del despegue y las siguientes durante el despegue, rodaje y subida. El aterrizaje se efectúa pasando por encima de la cámara, tomando fotografías antes de volar sobre ella

y continuando la toma después de haber girado la cámara 180 grados. La intensidad del viento se puede determinar por medio de instrumentos meteorológicos o valiéndose de la misma cámara, para lo cual basta que el avión, antes del aterrizaje, haga una pasada con viento de frente y otra con viento de cola.

El principio fundamental en que se basa la medición es el siguiente (figura 3):

Conocida la envergadura e del avión, que se toma como término de comparación, y admitiendo que el plano de la imagen sea paralelo a dicha envergadura, es decir, perpendicular al eje longitudinal del avión, se pueden establecer las siguientes relaciones:

$$\frac{x}{f} = \frac{a}{a'} = \frac{e}{e'}$$

de donde

$$x = f \times \frac{e}{e'} \quad a = a' \times \frac{e}{e'}$$

y como f es la distancia focal y e , e' y a' también se conocen o se pueden medir sobre la imagen con un comparador, se pueden conocer en cada fotografía, la distancia

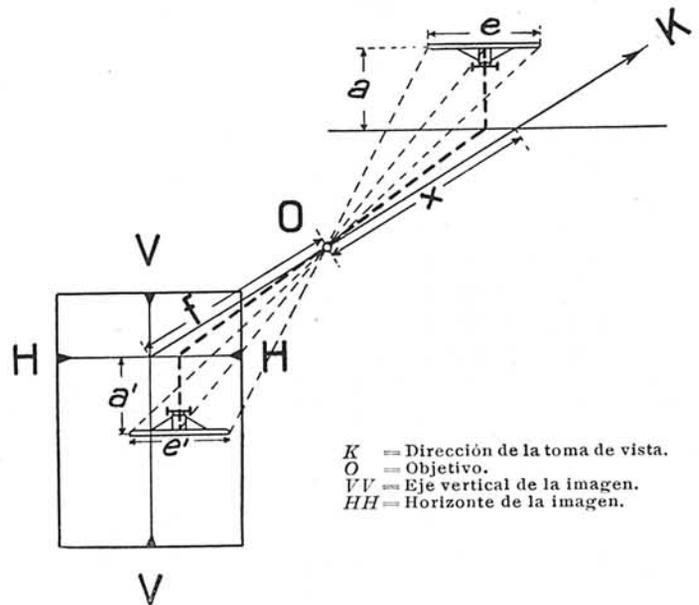


Fig. 3. — Esquema del proceso de medida con que opera la cámara de registro fotográfico D. V. L.

a que se encuentra el avión y su altura sobre el horizonte. Como sobre la imagen queda también reproducida la marca de tiempo del cronógrafo, se determinan asimismo las velocidades en los diferentes puntos de la trayectoria.

Las figuras 4 y 5 representan gráficamente los resultados de una medición de despegue y aterrizaje, como se hace en el D. V. L. En abscisas se toman las distancias o longitudes de rodadura y en ordenadas las velocidades, las alturas o los tiempos. La curva superior es la de velocidades, la intermedia es la trayectoria de despegue o de aterrizaje y la curva inferior es la de los tiempos.

Estos gráficos se refieren a las condiciones atmosféricas del día de la prueba, y para referir las medidas a las condiciones de la atmósfera tipo, se utilizan, como ya se ha indicado, las fórmulas de Blenk simplificadas y complementadas por los nomogramas del D. V. L.

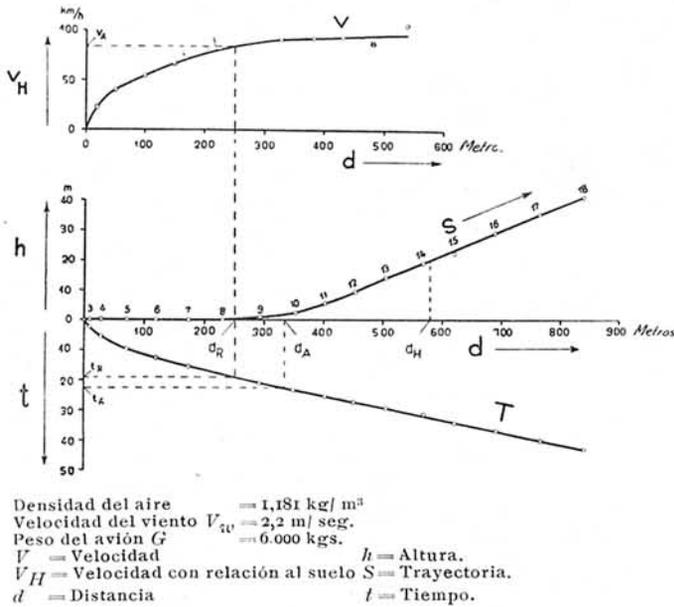


Fig. 4. - Gráfico de una medida de despegue.

Empleando las mismas notaciones que en Alemania:

V_w (m/s) = Velocidad del viento (viento contrario positivo).

g (m/s²) = Aceleración terrestre.

ξ (m/m) = Nivel del barómetro.

T (° C) = Temperatura.

γ (Kg/m³) = Densidad del aire.

N (Cv) = Potencia del motor

S (Kg) = Tracción de la hélice } para la densidad

del aire γ

N_0 y S_0 para la densidad del aire $\gamma_0 = 1,25$ kg/m³

N_1 y S_1 para la densidad del aire $\gamma_1 = 1.225$ kg/m³

F (m²) = Superficie sustentadora.

G (Kg) = Peso del avión en vuelo.

μ = coeficiente de frotamiento con el suelo.

η_1 = rendimiento de la hélice.

s, t y v , espacio, tiempo y velocidad.

s'_A, t'_A, V'_A , espacio, tiempo y velocidad para V_w y γ del día de pruebas.

s''_A, t''_A, V''_A , espacio, tiempo y velocidad para $V_w = 0$ y γ del día de pruebas.

s_A, t_A, V_A , espacio, tiempo y velocidad para el día standard $V_w = 0$ y γ_1 .

No entraremos en el detalle de las hipótesis y cálculos necesarios para la deducción de las fórmulas que se establecen más adelante, porque aparte la considerable extensión que ello exige, se sale del objeto de este trabajo, que es principalmente la aplicación simplificada de dichas fórmulas para deducir las características de despegue y aterrizaje de los aviones.

I. Viento en calma.

a) Tiempo de despegue o aterrizaje:

$$t''_A = t'_A \times \frac{V'_A}{V'_A - V_w} = t'_A \times e \quad [1].$$

en la que e es una función de V'_A y V_w que se obtiene por medio del nomograma número 4.

Para el aterrizaje se tiene análogamente:

$$t''_L = t'_L \times e \quad [1'].$$

b) Velocidad de despegue o aterrizaje:

$$V''_A = V'_A + V_w \quad [2].$$

Y análogamente para el aterrizaje:

$$V''_L = V'_L + V_w \quad [2'].$$

c) Longitud de rodadura en el despegue o aterrizaje:

$$s''_A = s'_A + t'_A \left[V_w + \frac{V_w^2}{2(V'_A - V_w)} \right] = s'_A + t'_A (V_w + d) \quad [3].$$

Los valores de d se encuentran utilizando el nomograma 4.

Y análogamente para el aterrizaje

$$s''_L = s'_L + t'_L (V_w + d) \quad [3'].$$

De los datos obtenidos en las mediciones efectuadas con la cámara, se pueden calcular, con auxilio de las fór-

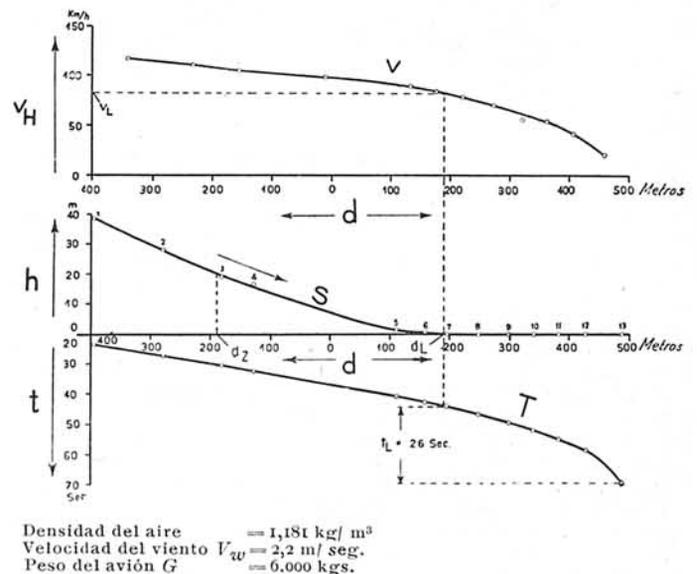
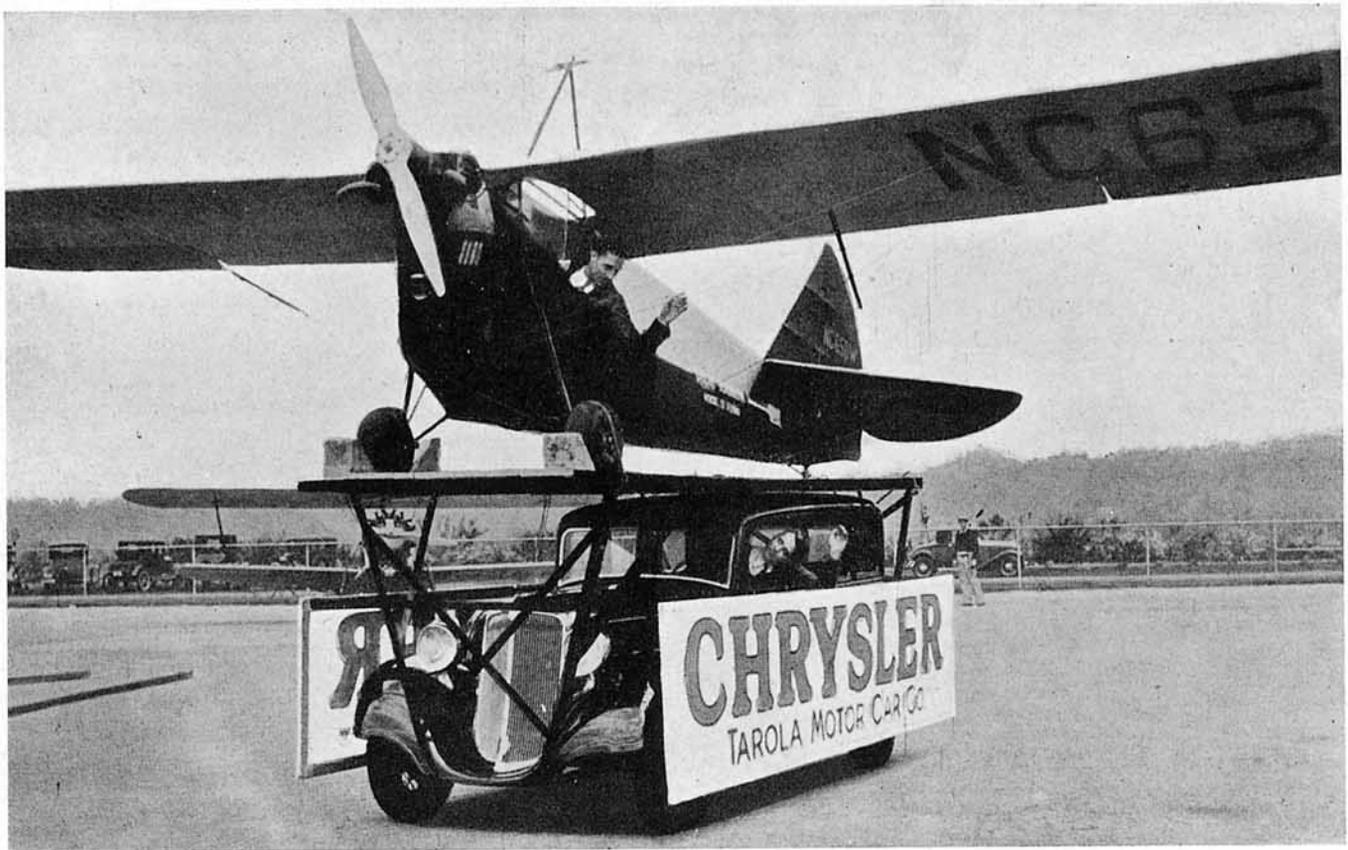


Fig. 5. - Gráfico de una medida de aterrizaje.

mulas anteriores, las características para viento en calma, pero se precisa reducir dichas características a las condiciones de la atmósfera tipo, es decir, para el aire de densidad $\gamma_1 = 1.225$ Kg/m³.



He aquí uno de los últimos aparatos empleados por la policía de los Estados Unidos para poner a los criminales en buen recaudo. Este pequeño aeroplano *Aeronca*, propiedad de la policía del Estado de Oregón, es lanzado al aire desde una plataforma construida sobre un automóvil Chrysler. Cuando el coche desarrolla una velocidad de 40 kilómetros por hora el lanzamiento de este avión es cosa muy sencilla.

DISTRIBUIDORES

S. E. I. D. A., S. A.

Exposición en Madrid: Avenida de Pi y Margall, 14

Oficinas y Recambios: Espronceda, 38 y 40

VISITE USTED EN

ÁLAVA. — Garage La Unión, Fueros, 31. - Vitoria.
 ALBACETE. — Pedro Amores, Paseo de la República, 4.
 ALICANTE. — Martínez Roselló y López, Juan Bautista Lafora, 6.
 ÁVILA. — Auto Garsouta, Carretera Nueva, 1.
 BADAJOZ. — Carlos Plá, Martín Casado, 1.
 BALEARES. — Antonio Bibiloni, Aragón, 14 a 18. - Palma de Mallorca.
 BARCELONA. — Seida Sucursal, S. A., Rosellón, 136 y 138.
 BURGOS. — Emeterio Moreno, Santa Clara, 15 y 17.
 CÁDIZ. — M. García Pelayo, Honda, 12. - Jerez de la Frontera.
 CASTELLÓN. — E. Dávalos Masip, Antonio Pons, 4.
 CIUDAD REAL. — Viuda de Morales, Carlos Vázquez, 6.
 CÓRDOBA. — M. García de la Plaza, Gran Capitán, 27 y 29.
 CORUÑA. — Manuel Neira, Feijóo, 11 a 15.
 CUENCA. — Benjamín Domínguez, Tarancón.
 GRANADA. — Luis Rodríguez, Reyes Católicos, 33.
 GUADALAJARA. — Viuda de Taberné, Ingeniero Mariño.
 GUIPÚZCOA. — Juan Alustiza, Miracruz, 27. - San Sebastián.
 HUELVA. — M. de los Santos Sánchez, Carretera de Gibralfaro, 10.
 HUESCA. — León Abadías, Ramón y Cajal, 1.
 JAÉN. — Garage España Linares, S. A., Carretera de Baeza, 11. - Linares.

LEÓN. — B. Ibán, Independencia, 10.
 LOGROÑO. — Juan José Laborde, Canalejas, 1.
 LUGO. — Manuel Neira, Ronda de la Coruña.
 MÁLAGA. — Cristóbal Benítez, Marqués de Larios, 9.
 MURCIA. — S. de R. Servet, Platería, 72.
 ORENSE. — Manuel Neira, Progreso, 76.
 OVIEDO. — M. Fernández Suárez, Garage Blanco. - General Elorza.
 PALENCIA. — Garage Carrión.
 PONTEVEDRA. — M. Neira, García Barbón, 56. - Vigo.
 SALAMANCA. — Moneo Hijo, Zamora, 20.
 SANTANDER. — H. Fernández Cervera, General Espartero, 5.
 SEGOVIA. — Auto Garsouta, Cervantes, 38.
 SEVILLA. — Francisco Sánchez Romero, Sierpes, 86.
 SEVILLA. — José Martín Carrero, Santa Ana, 1. - Estepa.
 SORIA. — Gonzalo Ruiz, Mayor, 2.
 TOLEDO. — M. García Alonso, Plaza, 4. - Torre Esteban.
 VALENCIA. — Francisco Amat, Avenida de Mariano Aser, 35.
 VALLADOLID. — Garage Carrión, Mantilla, C.
 VIZCAYA. — Luis Bareño, Hurtado Amézaga, 48. - Bilbao.
 ZARAGOZA. — Baselga y L. Carrascón, Arte, 7.

II. *Atmósfera tipo. Viento en calma* y $\gamma_1 = 1.225 \text{ Kg/m}^3$

El proceso efectivo de despegue del avión se sustituye por otro simplificado. Es indudable que cuando el avión rodando adquiere la velocidad mínima de vuelo, es decir, la velocidad de aterrizaje, ya puede despegar, pero en

Como fórmula para el cálculo de equivalencia de la potencia del motor y tracción de la hélice, establece Blenk la siguiente:

$$N : N_0 : N_1 = S : S_0 : S_1 = \gamma : \gamma_0 : \gamma_1 = \gamma : 1,25 : 1,225 \quad [5].$$

a) *Tiempo de despegue:*

$$t_A = t''_A \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma_1}} \times \frac{S - \mu G}{S_1 - \mu G} = t''_A \times f = t'_A \times e \times f \quad [6],$$

siendo

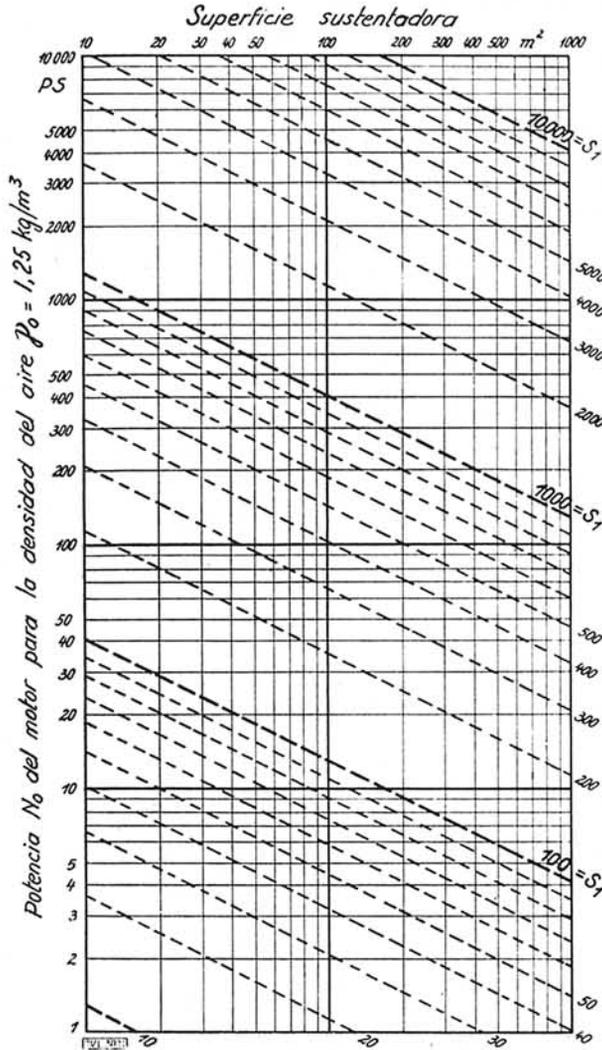
$$f = \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma_1}} \times \frac{S - \mu G}{S_1 - \mu G} = \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma_1}} \times \frac{\gamma_1 - q}{1 - q}$$

$$y \quad q = \frac{\mu G}{S_1} \quad [7],$$

puesto que según las relaciones [5] $\frac{S}{S_1} = \frac{\gamma}{\gamma_1}$

El valor de f se deduce del nomograma 5.

A μ , coeficiente de frotamiento del terreno, se le asigna en general el valor 0,1.



Nomograma 1. — Cálculo de la tracción S_1 de la hélice para la densidad del aire 1.225 kg/m^3

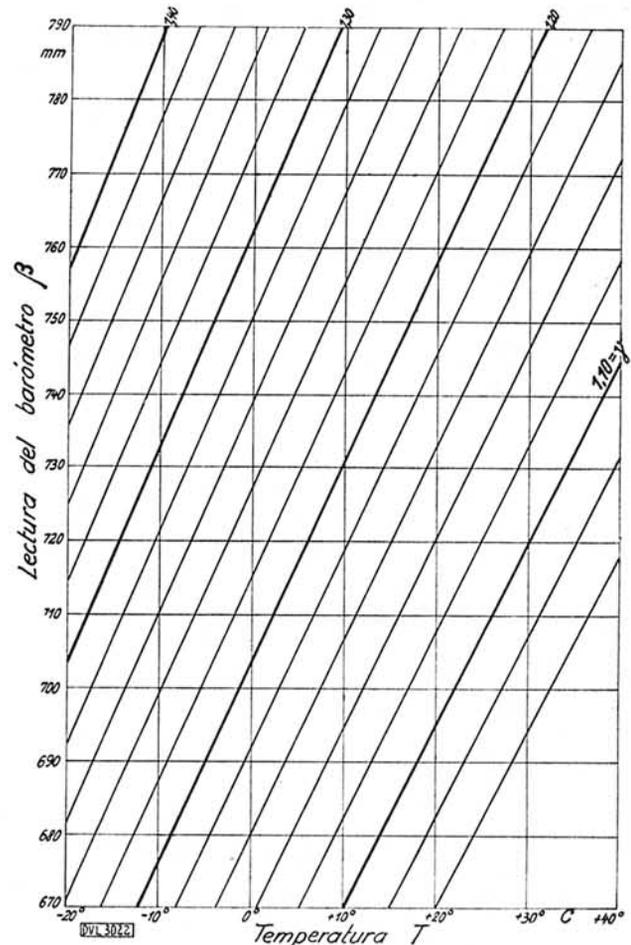
este momento el avión sube mal y por ello se le sostiene en vuelo horizontal próximo al suelo, hasta que alcanza la velocidad correspondiente al mejor ángulo de subida. El trayecto de despegue que se considera comprende el rodaje y el vuelo horizontal próximo al suelo, hasta alcanzar la velocidad correspondiente a la mejor subida.

La trayectoria efectiva del avión queda reemplazada por otra simplificada en la forma que se indica en la figura 6.

La densidad del aire del día de las pruebas se obtiene por la fórmula:

$$\gamma = \frac{0,464 \beta}{273 + T} \quad [4].$$

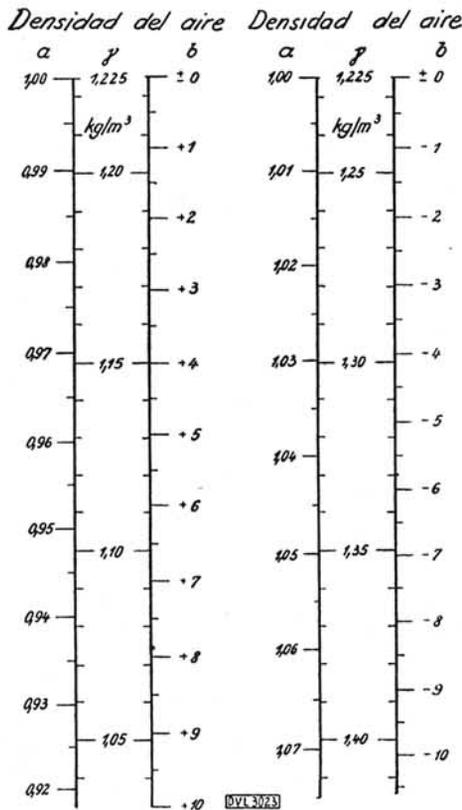
Y se puede hallar fácilmente utilizando el nomograma 2.



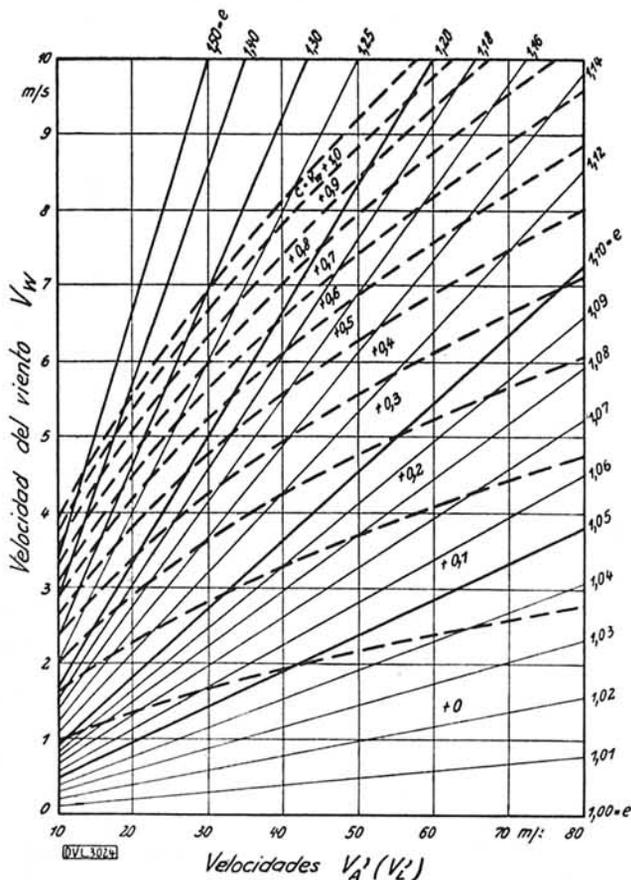
Nomograma 2. — Cálculo de la densidad del aire.

El valor de S_1 se obtiene por la fórmula de Blenk:

$$S_1 = C \frac{\gamma_1}{\gamma_0} \sqrt[3]{FN_0^2} \quad [8],$$



Nomograma 3. - Cálculo de los valores de a y b.



Nomograma 4. - Cálculo de los valores de c y e.

siendo C una constante que se puede suponer igual a 4. En esta hipótesis, se encuentra fácilmente S_1 por medio del nomograma 1.

a) Tiempo de aterrizaje:

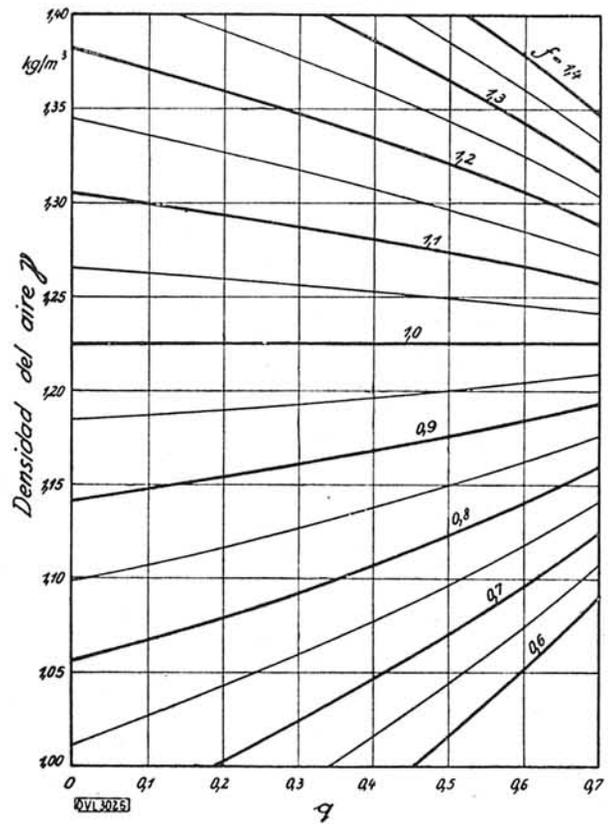
En el aterrizaje $N_0 = 0$, y por lo tanto $S = S_1 = 0$. La fórmula [6] se convierte en:

$$t_L = t''_L \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma_1}} = t''_L \times a \quad [9].$$

El factor a se deduce del nomograma 3.

b) Velocidades:

$$v_A = v''_A \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma_1}} = v''_A \times a \quad [10].$$

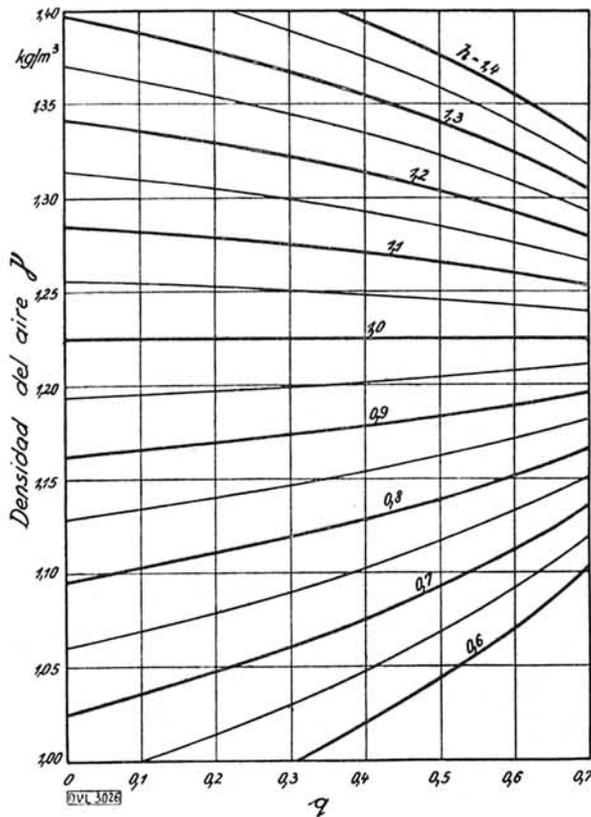


Nomograma 5. - Cálculo de los valores de f.

Para la velocidad de subida:

$$v_z = v'_z \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma_1} + \eta_1 \times 173,5 \left[1 - \left(\frac{\gamma}{\gamma_1} \right)^{\frac{3}{2}} \right] \frac{N_0}{G}} = v'_z \cdot a + b \frac{N_0}{G} \quad [11],$$

siendo $b = \eta_1 \times 73,5 \left[1 - \left(\frac{\gamma}{\gamma_1} \right)^{\frac{3}{2}} \right]$ que se deduce del nomograma 3, suponiendo que el rendimiento de la hélice es $\eta_1 = 0,6$. Si η_1 no es igual a 0,6, se obtiene el valor de b multiplicando el valor encontrado en el nomograma por la relación $\eta_1/0,6$.



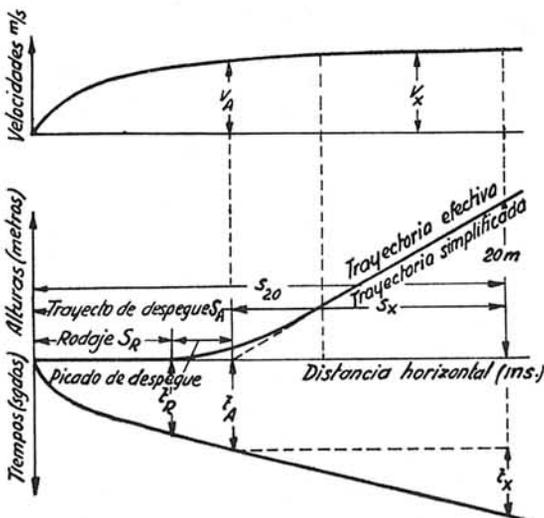
Nomograma 6. - Cálculo de los valores h.

En el aterrizaje se tiene:

$$v_L = v''_L \times a \quad [10']$$

Siendo $N_0 = 0$, la fórmula [11] se convertirá en

$$v_z = v'_z \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma_1}} = v'_z \times a \quad [12].$$



- s (m) == Distancias horizontales, t (s) = Tiempos.
- v (m/s) == Velocidades.
- s_R t_R desde la parada hasta el despegue del suelo.
- s_A t_A desde la parada hasta la iniciación del vuelo.
- s_{20} desde la parada hasta 20 m. de altura.
- s_X t_X desde la iniciación del vuelo hasta 20 m. de altura.

Fig. 6. - Reducción del proceso efectivo de despegue a otro simplificado.

c) Longitud de rodadura:

La fórmula de Blenk para longitud de despegue es:

$$s_A = s''_A \times \frac{\gamma}{\gamma_1} \times \frac{S - \mu G}{S_1 - \mu G} = s''_A \times h \quad [13],$$

siendo

$$h = \frac{\gamma}{\gamma_1} \times \frac{\gamma \gamma_1 - q}{1 - q} \quad [14];$$

q y S_1 se deducen de las fórmulas [7] y [8], obteniéndose h por el nomograma 6.

Como comprobación se tiene:

$$h = a \cdot f.$$

Para el aterrizaje:

$$S = S_1 = 0$$

$$S_A = s'_A \times \frac{\gamma}{\gamma_1} = s'_A \times h_L \quad [15].$$

Finalmente y para recopilar en forma ordenada todos los datos obtenidos en las pruebas y los resultados de aplicación de las fórmulas y nomogramas, el D. V. L. uti-

Cálculo de las cualidades de despegue.			
Avión: N° de fábrica: Localidad y fecha de la prueba:		Tempos cronometrados y observaciones	
Tracción de la hélice $S_1 =$ kg, para $\gamma = 1.215$ kg/m ³		$t'_R = 14,8$ s	
" constante C = en vez de 40			
Rendimiento $\eta =$ " 0.6			
Rozamiento del suelo $\mu =$ " 0.1			
$N_0 = 1098$ PS	$G = 7608$ kg	$\delta = 75$ mm	$T = +2$ °C
$F = 400$ m ²	$S_1 = 1900$ kg	$q = \frac{0.16}{S_1} = 0.008$	$\gamma = 1.215$ kg/m ³
Velocidades			
$a = 1.028$	$b = -3.1$	$c = v_w + d = 3.1$	$e = 5.14$
$f = 1.11$	$h = a \cdot f = 1.13$	Recorridos	
$\alpha_x = 136$ m	$v_w = 3.8$ m/s	$\alpha_R = 165$ m	$\alpha'_A = 206$ m
$\beta_x = 5.1$ s	$v'_x = 26.7$ m/s	$e \cdot c \cdot t'_R = 46$ m	$e \cdot c \cdot t'_A = 52$ m
$v'_z = \frac{20}{2.4} = 8.33$ m/s	$v'_x - v_w + v'_z = 29.7$ m/s	$\alpha''_R = 211$ m	$\alpha''_A = 258$ m
$v'_z - a \cdot v'_z = 4.02$ m/s	$v_x - a \cdot v'_x = 30.4$ m/s	$\alpha_R - h \cdot \alpha'_R = 238$ m	$\alpha_A - h \cdot \alpha'_A = 292$ m
$\delta = \frac{N_0}{G} = 0.14$ m/s	$S_1 - 1 \cdot \frac{v_x}{v'_x} = 1.85$	$\alpha_{20} = \frac{20 \cdot \alpha_x}{v_x} = 170$ m	$\alpha_{20} = \frac{20 \cdot \alpha_A}{v_A} = 462$ m
$v_z = 3.58$ m/s	Tiempos		
	$\alpha_R = 165$ m	$\alpha'_A = 206$ m	
	$t'_R = 14.8$ s	$t'_A = 16.7$ s	
	$t_R = (e \cdot f) \cdot t'_R = 15.7$ s	$t_A = (e \cdot f) \cdot t'_A = 21.1$ s	
	$t_x = \frac{20}{v_x} = 5.6$ s	$t_{20} = t_A + t_x = 26.7$ s	
Nomograma			
1) $S_1 = C \cdot a \cdot \eta \sqrt{F \cdot N_0^2}$			
2) $\gamma = \frac{0.464 \cdot S}{273 + T}$			
3) $a = \frac{\sqrt{2 \cdot \gamma}}{1.225}$			
4) $b = -0.735 \left[1 - \left(\frac{e}{1.225} \right)^2 \right]$			
5) $c = v_w + d = v_w + \frac{v_x^2}{2(v'_x - v_w)}$			
6) $e = \frac{v'_x - v_w}{v'_x - v_w}$			
7) $f = \frac{\sqrt{2 \cdot \gamma}}{1.225} \cdot \frac{11.4225 - q}{1 - q}$			
8) $h = \frac{\gamma}{1.225} \cdot \frac{21.1225 - q}{1 - q}$			
9) $\alpha_A = (3.6 \cdot v_x) \cdot \frac{km}{h} = 100 \cdot \frac{km}{h}$			
Mandos : $h = a \cdot f$			

Cálculo de las cualidades de despegue.

liza dos cuadros formularios, uno para el despegue y otro para el aterrizaje, que son muy parecidos, por lo que se inserta uno de ellos, el de las características de despegue, como complemento y resumen de todo lo expuesto.