

Aerotecnia

Estudio del denominado bombardeo aéreo en picado

POR **ALEJANDRO SIRVENT D'ARGENT**
Comandante de Aviación

(Continuación y fin.)

Resumen de valores.

Uniendo a estas fórmulas de (x) y (u) halladas, los valores de (y) altura y (z = v) velocidad vertical (obtenidas en el caso del bombardeo en la vertical y que como hemos dicho pueden aplicarse sin error a este caso), así como el valor de tg θ (ángulo de caída) que será el valor de $\frac{z}{u}$ y el de (t) que, como siempre, será igual a $(\frac{V'}{g} t')$ tendremos las fórmulas que nos resolverán el problema presentado; éstas fórmulas serán, eligiendo para valor de (x) el obtenido de la (15), las siguientes:

$$x = \frac{2 V'^2 u_0}{g \sqrt{V'^2 - V_a^2}}$$

$$\cdot \text{arc tg} \left[\frac{(V' + \sqrt{V'^2 - V_a^2})(e^{t'} + 1) + V_a(e^{t'} - 1)}{V_a(e^{t'} + 1) - (V' + \sqrt{V'^2 - V_a^2})(e^{t'} - 1)} \right] \quad (16)$$

$$y = \frac{V'^2 l (\cos h t' + \frac{V_a}{V'} \text{sen } h t')}{g} \quad (17)$$

$$u = \frac{V_a \cos \Phi}{\cos h t' + \frac{V_a}{V'} \text{sen } h t'} \quad (18)$$

$$z = V' \left[\frac{V' \text{tg } h t' + V_a}{V' + V_a \text{tg } h t'} \right] \quad (19)$$

$$\text{tg } \theta = \frac{z}{u} \quad (20)$$

$$t' = \frac{V'}{g} t \quad (21)$$

Para un ángulo de picado $\Phi = 90^\circ$ „ x = 0 „ .

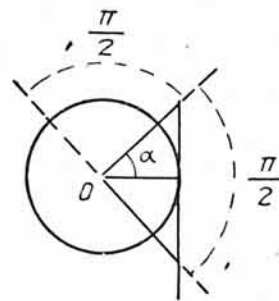
Para un ángulo de picado $\Phi = 0$; ó séase: vuelo en horizontal las V_a (velocidades del avión), que para grandes ángulos en el bombardeo en picado hemos admitido iguales a las velocidades verticales del bombardeo en la vertical, se anularán, y entonces el valor del alcance para una velocidad horizontal, u_0 , que en este caso sería la del avión, será:

$$x = \frac{V' V' u_0}{g V'} 2 \text{ arc tg} \frac{(V' + V')(e^{t'} + 1)}{-(V' + V')(e^{t'} + 1)} =$$

$$= \frac{V' u_0}{g} 2 \text{ arc tg} \frac{e^{t'} + 1}{1 - e^{t'}} = \frac{V' u_0}{g} 2 \left[\text{arc tg } e^{t'} + \frac{\pi}{2} \right],$$

puesto que

$$\text{tg} \left(\text{arc tg } e^{t'} + \frac{\pi}{4} \right) = \frac{e^{t'} + 1}{1 - e^{t'}}$$



Solución que no es posible, por resultar para x un valor mayor para la proyección horizontal de la velocidad que dicha velocidad. Como

$$\text{tg} \left(2 \text{ arc tg } e^{t'} + \frac{\pi}{2} \right) =$$

$$= \text{tg} \left[2 \text{ arc tg } e^{t'} - \frac{\pi}{2} \right].$$

Otra solución será para el valor de x:

$$x = \frac{V' u_0}{g} 2 \text{ arc tg} \left[\text{tg} \left(\text{arc tg } e^{t'} - \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{4} \right) \right] =$$

$$= \frac{V' u_0}{g} 2 \left(\text{arc tg } e^{t'} - \frac{\pi}{4} \right) \quad (22)$$

Valor ya posible y por otra parte igual expresión que la que se obtuvo en la Balística en el caso del bombardeo en la horizontal.

Está fórmula del alcance nos facilitaría con más sencillez la resolución del problema de la obtención del alcance para ángulos grandes de picado, en vez de la 16, de difícil aplicación, poniendo en vez de u_0 su valor $V_a \cos \Phi$, y llamando como allí $2 \left(\text{arc tg } e^{t'} - \frac{\pi}{4} \right) = G(t')$, y utilizando las tablas existentes de $G(t')$ para los valores de t' , quedará rápidamente obtenido y con una aproximación suficiente dicho valor del alcance.

Tendremos en resumen, por tanto, para la resolución de este problema, las mismas fórmulas (17), (18), (19), (20) y (21), y en vez de la (16), la últimamente obtenida (22) de

$$x = \frac{V' V_a \cos \Phi}{g} G(t') \quad (22)$$

Con ellas, dados los valores de (V_a), velocidad del avión en el momento del lanzamiento en el pi-

cado; (V'), velocidad límite de la bomba; (y), altura del lanzamiento; podemos determinar por medio de la fórmula (17) que nos da (y) el valor de (t), valor que, con el del ángulo de picado Φ , nos servirá para obtener con la (22) el alcance (x), velocidad horizontal (u) y vertical (z), y (t), tiempo de caída, así como en función de (u) y (z) el del ángulo de caída. Ahora bien, para el resultado que vamos buscando, lo que mayormente nos interesa es conocer el error que se comete en esta clase de bombardeo, al apuntar el objetivo directamente, para ver la corrección que hay que hacer y, por tanto, el método de operar.

Como dejamos dicho en el caso del bombardeo en el vacío, análogamente en este caso el error será:

$$\text{error} = \frac{y}{\text{tg } \Phi} - x = \frac{y}{\text{tg } \Phi} - \frac{V' V_a \cos \Phi}{g} G(t) ..$$

y hasta que no se llegue a $\Phi = 90^\circ$, en cuyo caso será cero, será tanto menor cuanto mayor sea (Φ) y (V_a) y menor sea (y); luego hay que tender en esta clase de bombardeo a realizarlo con el mayor ángulo de picado posible, mayor velocidad (V_a) y menor altura (y).

Hodógrafa.

Una vez obtenidos los anteriores valores, vamos a estudiar ahora cuál es la hodógrafa de esta trayectoria, para de ella obtener la trayectoria relativa de la bomba. En el estudio que hace la Balística en el caso del movimiento de una bomba lanzada con una cierta velocidad horizontal y en la atmósfera (caso corriente de bombardeo), se llega a la conclusión de que una de las ecuaciones de primer orden obtenida de las ecuaciones generales del movimiento, es la ecuación de la hodógrafa.

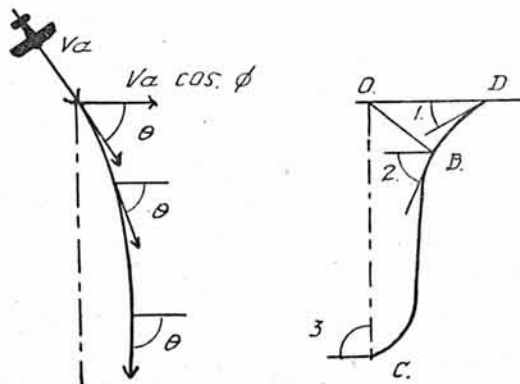
En el caso presente que estudiamos y por ser las ecuaciones del movimiento las mismas que las obtenidas en dicho caso, por intervenir en ellas los mismos factores, nos llevará también el razonamiento allí expuesto a la ecuación para la hodógrafa de esta trayectoria.

Esta ecuación es la ya obtenida

$$\frac{d(V \cos \theta)}{d \theta} = - \frac{c}{g} F(v) V.$$

Podemos comprobar esta fórmula, pues si $c F(v) = 0$, caso ya sabemos del vacío, $d(V \cos \theta) = 0 ..$ y tendremos que $V \cos \theta = \text{const.}$, valor que ya obtuvimos en el caso que estudiamos del bombardeo en picado y en el vacío.

La forma de la hodógrafa será, por tanto, como la Balística nos lo demuestra, la siguiente:



Su comienzo estará en D, a una distancia de O .. o $D = V_a \cos \Phi$ (en el origen la velocidad horizontal será igual a la de picado V_a por el coseno del ángulo Φ de picado). La fórmula que nos da la tangente en un punto de la trayectoria, sabemos es:

$$\text{tg } \theta = \frac{\frac{V'^2}{V^2} - \text{sen } \theta}{\cos \theta} ..$$

siendo θ las inclinaciones de las tangentes a la trayectoria en cada punto.

Por tanto, la tangente en dicho punto (D), correspondiente al origen, es igual llamando ψ al ángulo que forma esta tangente con la horizontal

$$\text{tg } \psi_D = (\text{tg } \theta) = \frac{\frac{V'^2}{V^2} - \text{sen } \theta}{\cos \theta} ..$$

Como en el origen la tangente a la trayectoria será el ángulo de picado, podremos sustituir el valor de θ por el de dicho ángulo Φ de picado y nos quedará para la tangente a la hodógrafa en su origen, por ser además $V = V_a$

$$\text{tg } \psi_D = \frac{\frac{V'^2}{V_a^2} - \text{sen } \Phi}{\cos \Phi} ..$$

De D á B será cóncava respecto a las (y) positivas..

Siendo B el punto de inflexión, que es donde la velocidad será mínima (oB mínimo), su tangente

$$\text{tg } \psi_B = (\text{tg } \theta) = \frac{1}{\text{tg } \theta} ..$$

De D á C es convexa respecto al eje de las (y) positivas y en C la tangente es horizontal. Siendo la velocidad la límite $oc = V'$ y su tangente igual a $\frac{\pi}{2} ..$

$$\text{tg } \psi_a = (\text{tg } \theta) = \frac{\pi}{2} ..$$

Como la velocidad horizontal será muy pequeña, si el ángulo de picado es grande la distancia $OD = V_a \cos \Phi \simeq 0$, por ser $\cos \Phi \simeq 0$, y la tangente en este caso y en el punto D, sería:

$$\text{tg } \psi_D = \frac{\frac{V'^2}{V_a^2} - \text{sen } \theta}{\cos \theta} \simeq \infty .. \text{ y } .. \psi_D \simeq 90^\circ ..$$

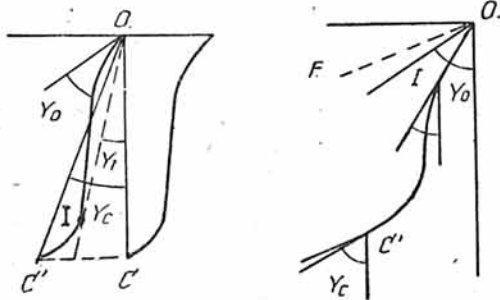
Siendo la hodógrafa en el caso límite de que $\Phi = 90^\circ$ una línea vertical.

Trayectoria relativa.

Obtenida esta hodógrafa, podremos, sirviéndonos de ella, hallar la forma de la trayectoria relativa para esta clase de bombardeo, suponiendo que el avión siguiera la misma o distinta dirección que la que lleve en el momento del lanzamiento.

Por ser en este caso la hodógrafa de la trayectoria

relativa igual y paralela a la hodógrafa de la trayectoria real y trazada por el origen de coordenadas, podemos obtener la trayectoria relativa uniendo el origen con cada punto de esta segunda hodógrafa, pues dichas rectas nos marcarán las velocidades de la trayectoria relativa que serán, por tanto, las direcciones de las tangentes a dicha trayectoria, con lo cual podremos dibujar su forma. Efectuando estas operaciones, podremos resumirlas en las condiciones siguientes:



En el origen, la tangente a la trayectoria relativa debe formar un ángulo con la vertical tal que $\text{tg } \gamma_0$ (llamando γ a estos ángulos),

$$\text{tg } \gamma_0 = \frac{V'^2 - \text{sen } \Phi}{V_a \cos \Phi}$$

(igual al que formaba la tangente a la hodógrafa en ese punto).

Luego disminuirá hasta un punto I correspondiente al punto en que la velocidad de la trayectoria relativa es tangente a la hodógrafa de dicha trayectoria relativa (el menor ángulo que formará).

Luego aumentará hasta el punto de velocidad final, en cuyo punto

$$\text{tg } \gamma_c = \frac{V_a \cos \Phi}{V'}$$

El punto I será de inflexión, adoptando la trayectoria relativa la forma de la figura, siendo cóncava hacia las (y) positivas de (o) á (I) y convexa de (I) al final.

Angulo de retraso.

Con arreglo a la forma deducida, el ángulo de retraso ρ formado por la línea punto (o)—bomba, con la vertical en el origen, será como los anteriores

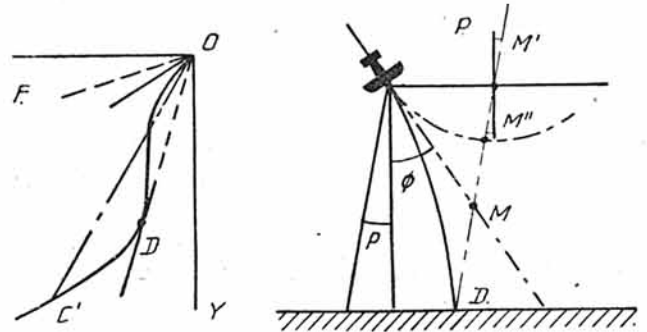
$$\text{tg } \rho_0 = \frac{V'^2 - \text{sen } \Phi}{V_a \cos \Phi}$$

luego disminuirá hasta el punto (D), aumentando luego sin poder pasar del valor

$$\text{tg } \rho_c = \frac{V_a \cos \Phi}{V'}$$

puesto que la curva o D D' C' no podrá cortar a la recta o F, que forma con la oy el ángulo $\text{tg } F_0y = \frac{V_a \cos \Phi}{V'}$, por

ser siempre el ángulo de inclinación de la trayectoria relativa menor que $\frac{V_a \cos \Phi}{V'}$ (velocidad horizontal a velocidad límite), hasta el punto de velocidad final en que la $\text{tg } \gamma = \frac{V_a \cos \Phi}{V'}$.



Y cuando no se haya calculado el ángulo de retraso correspondiente a cada altura de bombardeo, se puede admitir, sin gran error, que el ángulo de retraso fijo, la (V_a), (V') y (Φ), será:

$$\text{tg } \rho = \frac{V_a \cos \Phi}{V'}$$

para todas las alturas.

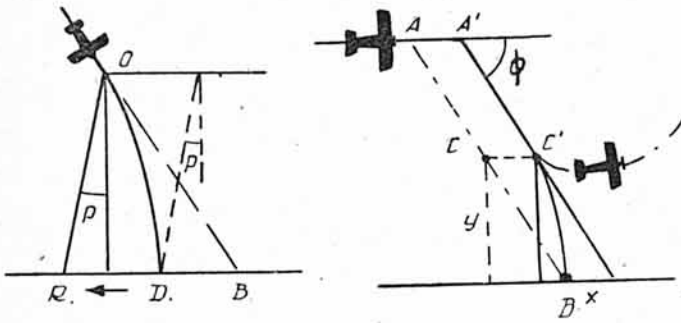
Deducido este valor, podremos obtener con bastante aproximación lo que nos quedaría retrasada la bomba respecto al aparato y en las distintas direcciones que éste tomase.

Si suponemos que el avión sigue la misma trayectoria que lleva en el momento del lanzamiento, o séase, que siguiese con un picado cuando el aparato estuviese en (M), la bomba, que habría recorrido su trayectoria, estaría en (D), formando la línea DM con la vertical el ángulo de retraso. O séase: que en la intersección de esta línea DM con la trayectoria del avión, se encontraría la posición del avión en el momento de llegar la bomba al suelo, de manera que si el avión tomase la posición horizontal en el momento del lanzamiento y caminase con una velocidad $V_a \cos \Phi$, estaría en el punto M', y si describiese un arco de salida del picado, en el punto M''. Este retraso del sitio de caída de la bomba con respecto al aparato, no es el retraso de la bomba con respecto al objetivo que anteriormente calculamos por la diferencia del alcance (x) de la bomba con el que tendría si hubiese seguido la línea recta; por ello, si supusiésemos fijo el avión y móvil el terreno, la bomba descendería por la trayectoria relativa o R, y el objetivo, que estaría en B, tendría que recorrer DB + DR para llegar a encontrarse con la bomba.

Como la distancia DR = ($V_a \cos \Phi$) t, siendo t el tiempo de caída de la bomba, el objetivo que partiera de B, tendría que marchar para encontrarse con ella en el punto R, t, segundos después del lanzamiento, a una velocidad

$$\frac{DB + V_a \cos \Phi t}{t} = V_a \cos \Phi + \frac{\text{error en el alcance}}{\text{tiempo de caída}} = V_x$$

diferencia con el caso del bombardeo en horizontal que era V_a (velocidad horizontal del aparato).



Método de operar.

El método de operar tendrá que ser realizado también de una manera análoga al explicado en el bombardeo en el vacío. Por tanto, podemos decir que para efectuar esta clase de bombardeo y una vez elegida la altura (y) de lanzamiento (debe ser la menor posible), fijo un ángulo de picado (Φ) (el mayor posible), por regla general oscila entre los 60° y 80° , y la velocidad (V_a) del picado para dicha altura (también la mayor posible y fija, sin pasar de la velocidad límite de la bomba que se sabrá de antemano), se determinará el error que se tiene al apuntar al objetivo directamente. Conseguido esto, se iniciará el picado cuando se llegue a un punto tal como (A'), desde el cual, apuntando delante del objetivo el error (x) en alcance, forme la línea de picado del aparato el ángulo Φ de picado elegido, punto (A') que tendrá la suficiente altura para que se llegue al punto (c'), que tiene la altura (y) elegida de lanzamiento, con la velocidad V_a , también elegida y constante. La bomba, entonces, describirá su trayectoria c'B y dará en el objetivo.

Aparatos para efectuar la puntería.

Aunque desconocemos los modelos que están hoy en uso para la realización de esta clase de bombardeos, del estudio anteriormente hecho podemos llegar a unas soluciones que han de aproximarse a la realidad. De los datos que tenemos para la realización del bombardeo, altura, velocidad del picado y ángulo de picado, y sólo para el mero hecho de la puntería, únicamente nos interesa el último y deducido de los datos elegidos, el valor del error que se comete en el alcance; por tanto, no trataremos más que de estos dos extremos.

De los dos datos, el del ángulo de picado tendrá que ser referido bien a la horizontal Φ ó a la vertical ($90 - \Phi$). Si tomamos la horizontal como elemento de referencia, es claro que solo nos bastará el marcar en un sector

corriente, en que uno de los lados del ángulo que lo forma esté nivelado, o seáse, en prolongación del eje del aparato, el ángulo del picado correspondiente y esperar para iniciar el picado elegido a que aparezca por la línea de mira un punto, situando delante del objetivo una cantidad igual al error que se comete por la trayectoria de la bomba.

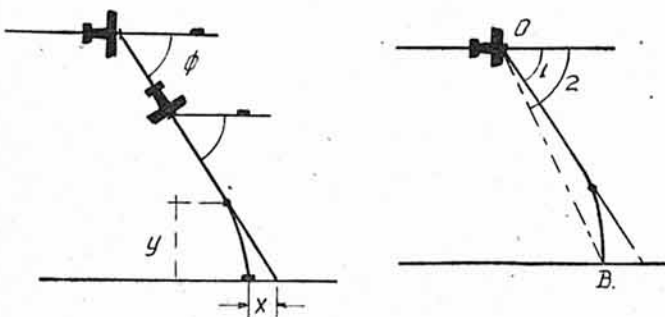
Una vez iniciado el picado con dicho ángulo, no hará falta más que seguir conservándolo respecto a la horizontal, dirección que al ser bloqueados como se sabe los mandos del aparato y ser los aviones dedicados a esta clase de bombardeo contruidos para que conserven fielmente su estabilidad longitudinal, será ya casi automática la conservación de este ángulo de picado y de esta dirección. A partir del bloqueo de los mandos y si se ha realizado con precisión la puntería, el eje del aparato será entonces el que coincidirá con la línea de puntería y el lado superior, bien del mismo sector o de otro que forme el ángulo de picado superpuesto al primero, será el que permanecerá nivelado, o seáse, mirando al horizonte.

Ahora bien, si por dificultades de elección de un punto delante del objetivo o imposibilidad de elegirlo (caso de objetivos marítimos), se debe iniciar el picado apuntando directamente al objetivo, caso que por otra parte se dará cuando los objetivos sean de dimensiones menores que el error que se produce en la puntería (pues en ellos el error se puede, ya dijimos, corregir apuntando sobre la parte del objetivo adelantada al sitio elegido una cantidad igual al error), hará falta introducir en el visor de puntería la corrección necesaria para que sea iniciado el picado en el mismo punto (o) que si se apuntara delante del objetivo y que el aparato tome la inclinación elegida del picado y para estar en las condiciones debidas del bombardeo.

O seáse: que si el aparato tiene que iniciar su picado en (o) y observar en dicho punto el objetivo (B), verá a éste bajo un ángulo (1) (ángulo que variará para cada altura), y tomará luego la inclinación del ángulo del picado elegido (2) respecto a la horizontal; luego el aparato de puntería que nos servirá para este caso será uno, en el que una vez deducido el nuevo ángulo de puntería (unas tablas nos lo darán en función de la altura y ángulo Φ de picado elegido), nos indique dónde debe iniciarse el picado que, repetimos, será cuando se observe el objetivo con dicho ángulo y otra graduación que nos indique la inclinación que hay que dar al aparato hasta que su eje forme con el horizonte o con la horizontal el ángulo elegido (de picado elegido), para que forme el eje de dicho avión este ángulo, aparato que se podrá componer de dos sectores: uno para la iniciación del picado y otro para dar al avión el ángulo de picado elegido.

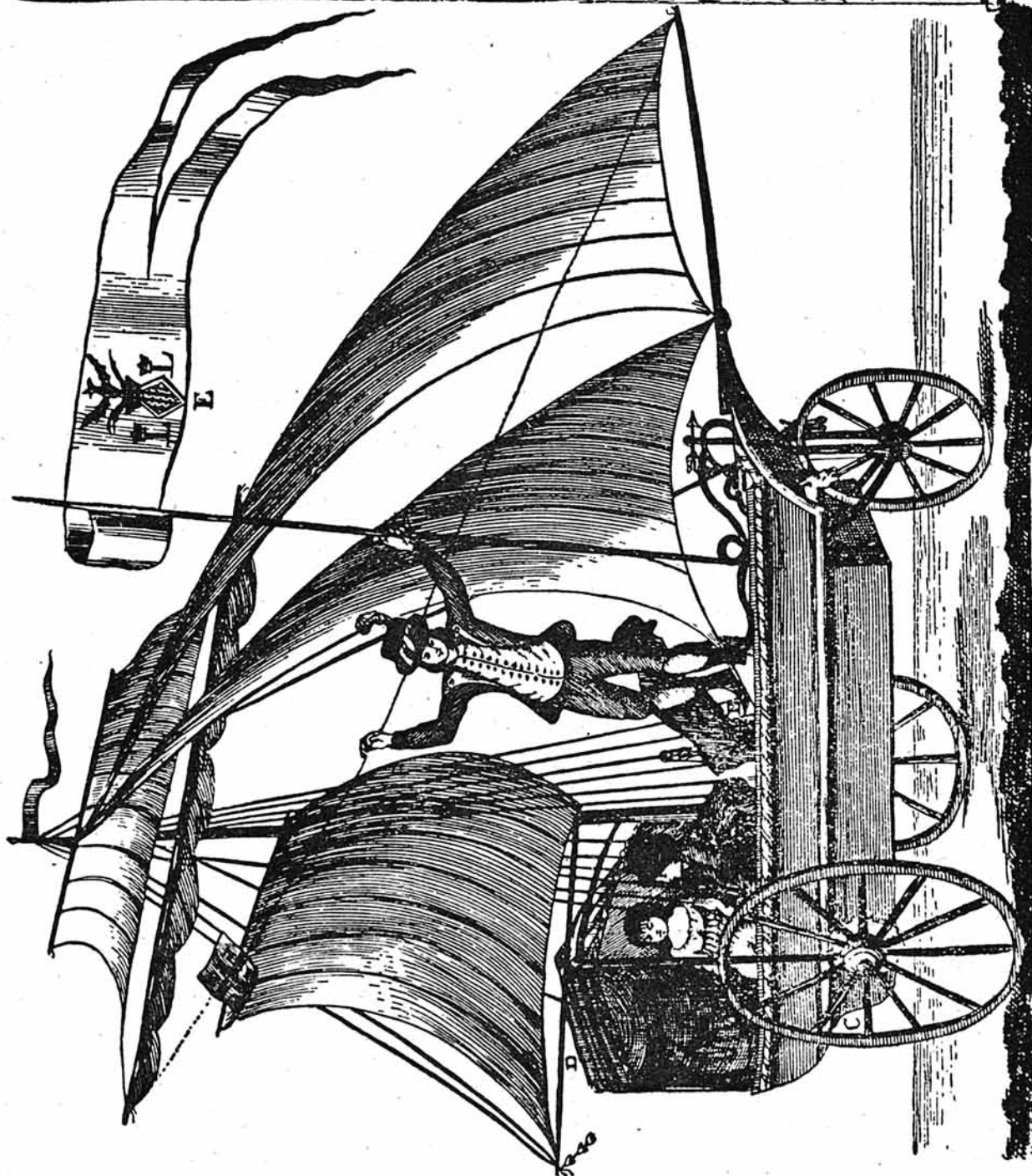
Ahora bien, dadas las alturas a que se ejecuta esta clase de bombardeo y sabiendo que el error será tanto más pequeño cuanto mayor es el ángulo de picado y mayor la velocidad del avión, se puede, si estas condiciones se cumplen, caso a que se ha tendido en la práctica, emplear para la ejecución del bombardeo el primer método y aparato de puntería últimamente expuesto.

Si el objetivo estuviese en movimiento, habría que efectuar las operaciones antes explicadas de puntería sobre un punto situado delante de él, a una distancia igual al error en alcance, más el desplazamiento de dicho objetivo por el número de segundos que durase el picado.



Una página de Historia de la Aeronáutica

COCHE VOLANTE
 su figura es triangular curvilina q.
 apoya sobre tres ruedas. El Buque
 interior consta de 8 pies de Longi.
 y 4 de L. altitud. tiene 6 aristas, des
 de ellas se dirige la máquina tocart
 do levemente la manecilla. Su apen
 te es el aire pero en su defecto lo es
 una manija q. se mueve con facilidad.
 No puede volarse por q. el boboly
 volamen. grabitan mas bajo q. el qe.
 Era vengosa máquina evocada
 en España por un patricio, es tan útil
 y comoda q. proporcionala las maiores
 ventajas quales son las de poder via
 jar sin cavalleria con seguridad y pron
 tidad en calma o queriendo marchar contra
 el ayre la manija suplido. da las vuel
 tas y contiene el paso al abrivio del q. lari
 se, vive y vega las cuetas sin diferencia
 de qualquiera otro carruaje. Desde el cano
 pe A se da dirección a la máquina
 y tambien se puede desde el ariento de
 tanto B. suben los viajeros por la te
 na C. Los principales asientos se cubren
 y descubren con un tubo como de man
 ta D y la E. son las aristas de Valencia



(De la "Historia Bibliográfica e Iconográfica de la Aeronáutica en España, Portugal, países Hispano-Americanos y Filipinas").

Por Graciano Diaz Arquer y Pedro Vindel