EL PROBLEMA DEL TIRO AÉREO

El Capitán de Ingenieros, Sr. Herrera, profesor de la Escuela de Aviación de Cuatro Vientos, publicó en uno de los últimos números de Madrid Científico *un interesante artículo que reproducimos á instancia de algunos de nuestros lectores y gracias á la amabilidad de la dirección de la mencionada revista.*

El artículo, que lleva por título el que encabeza estas columnas, dice así:

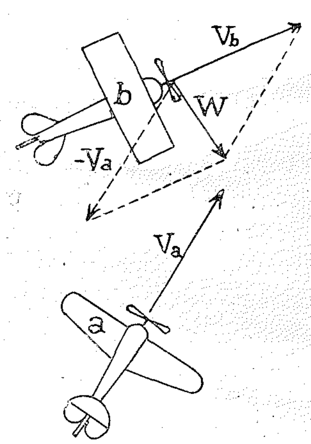
«El aeroplano, que tan rápidamente ha pasado sucesivamente por sus fases de instrumento de ensayo, después de *sport* y luego simultáneamente de medio de locomoción, de acrobatismo y de reconocimientos militares, ha llegado á ser, por último, una poderosa arma de combate, que, por su extraordinario radio de acción, está llamada á figurar en primera línea entre las demás empleadas en la guerra.

En efecto; el aeroplano puede servir de vehículo á armas de fuego de poco peso *(fusil ó ametralladora y en los dirigibles, hasta piezas de artillería ligeras)* con las cuales se ataque á otras aeronaves ó á puntos del terreno que, por estar desenfilados ó fuera del alcance de la artillería terrestre, sean solo atacables por el tiro aéreo: pero este procedimiento tiene el inconveniente de recargar el aeroplano con un peso considerable, por lo que solo se debe emplear para el ataque entre aeronaves, cuyo caso está reducido al de tiro contra blanco móvil, en el cual el aeroplano atacante a, fig. 1, se considera fijo, y el blanco b animado de la velocidad W resultante de la suya propia V_b y de una igual y contraria á la del primero V_a, que es como el observador colocado en a vería moverse al aeronave blanco.

En el caso de tiro contra puntos del terreno, de nivel muy inferior al del aeroplano atacante, se puede suprimir el arma de fuego y arrojar proyectiles llevando al aeroplano al punto necesario para que la trayectoria de caída del proyectil pase por el blanco, que es el caso característico del tiro aéreo, en el que se aprovecha la movilidad del aeroplano y la fuerza viva desarrollada por la caída desde gran altura del proyectil para hacer que éste llegue al blanco con suficiente poder destructor sin tener que emplear arma de fuego para el disparo.

Supongamos un aeroplano animado de una velocidad propia uniforme, rectilínea y horizontal V dentro de la masa de aire que se mueve á su vez con relación al terreno con una velocidad de viento V'. El aeroplano, en estas condiciones, tendrá una velocidad absoluta con relación al terreno igual á la resultante de V y V' que llamaremos W, y de esta misma velocidad estará animado

Fig.ª 1.



el proyectil colocado á bordo y dispuesto á ser arrojado.

En el momento de arrojarle, el proyectil seguirá animado de la velocidad W con relación al suelo y de la velocidad V con relación al aire, pero sufrirá la acción de dos fuerzas: una la de la gravedad y otra la resistencia del aire contraria á la dirección de su marcha dentro de él. La primera es igual al peso P del proyectil, y la segunda igual á KSV_1^2, siendo K un coeficiente que depende de la forma del proyectil, y S su sección máxima transversal. Bajo la acción de estas dos fuerzas y de la velocidad inicial W, el proyectil comienza su descenso según una línea cada vez más inclinada hacia adelante con relación al terreno, y el valor de la resistencia del aire, que en el primer momento era horizontal y proporcional á V^2, va cambiando de dirección y aumentando en intensidad según el movimiento del proyectil con relación al suelo depende de la velocidad propia horizontal del aeroplano V, de la dirección y velocidad del viento V', de la forma del proyectil, de su sección máxima transversal y de su peso, y que para determinar en qué momento se ha de arrojar el proyectil hay que conocer, además de todos los datos anteriores, la altura del aeroplano sobre el blanco.

Parece á primera vista que este problema ha de presentar dificultades extraordinarias por su complicación, pero es fácil darse cuenta de que, por el contrario, su resolución puede llevarse á cabo á bordo de un aeroplano mediante sencillas operaciones de puntería en condiciones de suficiente precisión para las necesidades de la práctica. Para ello basta observar que todos los datos necesarios para conocer la trayectoria pueden ser determinados *a priori*, excepto la velocidad V' del viento, y, por lo tanto, conocida la velocidad propia horizontal del aeroplano (que es una de sus características, como el peso, dimensiones, potencia, etc.), y el proyectil que se ha de arrojar, se podrá tener trazada la forma de la trayectoria con relación, no al terreno, sino del aeroplano, ó sea la que aparentemente recorrería el proyectil visto por un observador colocado á bordo de la aeronave atacante, puesto que esta trayectoria es independiente de la velocidad V' de la masa de aire con relación al terreno.

Si el tiro se verificara desde un globo libre equilibrado, como se movería con relación al terreno con la misma velocidad del viento, el valor de V sería cero y el proyectil caería sin sufrir ninguna fuerza transversal que le desviara de la vertical del globo, y trayectoria con relación á la aeronave atacante sería la vertical que pasara por ella, figª 2.

Siendo la resistencia del aire proporcional al cuadrado de la velocidad relativa *(para las velocidades que hay que tener en cuenta en este problema)*, la fórmula de la caída del proyectil con relación al globo se determina fácilmente. En efecto, en cada momento el producto de la aceleración del proyectil por su masa, será igual á la suma de las fuerzas que actúan sobre él con sus respectivos signos, ó sea su peso menos la resistencia del aire:

$$\frac{dv}{dt}\frac{P}{g}=P-K\,S\,v^2,$$

siendo v la velocidad de caída en el momento que se considere, t el tiempo transcurrido y g la aceleración de la gravedad.

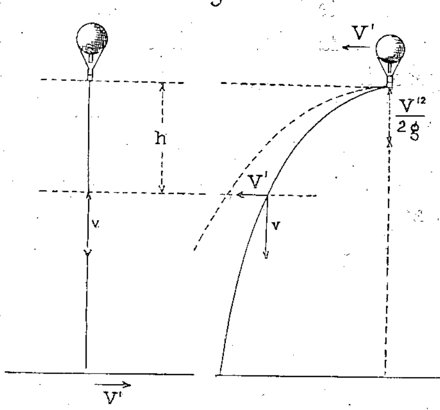
De esto se deduce:

$$dt=\frac{1}{g}\frac{dv}{1-\frac{KS}{P}v^2},$$

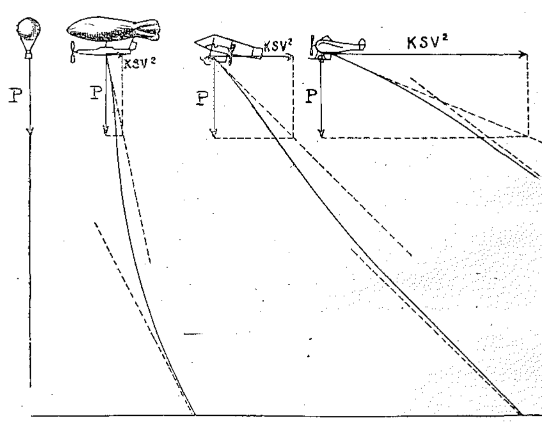
de donde, integrando:

$$t=\frac{1}{2g\sqrt{\frac{KS}{P}}}\times$$

Figª 2.



Figª 5.



$$\times\ \log.\ \text{nep.}\ \frac{\sqrt{\frac{KS}{P}}+\frac{KS}{P}v}{\sqrt{\frac{KS}{P}}-\frac{KS}{P}v}.$$

Fórmula que nos dá el tiempo t en función de la velocidad de caída v.

De la ecuación diferencial de las fuerzas vivas se puede obtener, integrando

$$\frac{P}{g}v\,dv=(P-KSv^2)\,d\,h,$$

$$h=\frac{P}{2\,g\,KS}\log.\ \text{nep.}\ \frac{1}{1-\frac{KS}{P}v^2}.$$

Por cuya fórmula conoceremos h ó sea la altura de caída en función de v.

Analizando estas fórmulas vemos que solamente depende de la relación

$$\frac{P}{SK}$$

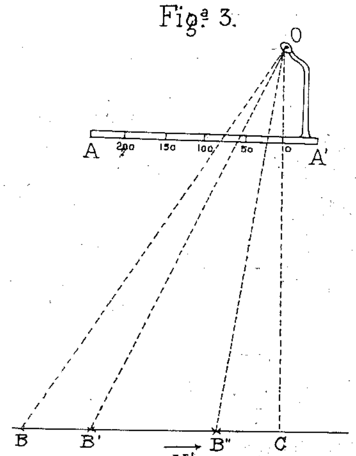
del proyectil y que v crece con t y con h, acercándose indefinidamente á una velocidad límite

$$\sqrt{\frac{P}{KS}},$$

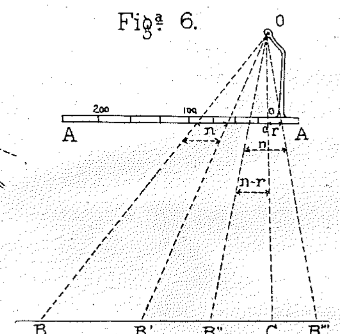
que corresponde á su valor de resistencia del aire igual al peso del proyectil. Esta es la *velocidad de régimen de caída* del proyectil. Si no se tuviera en cuenta la resistencia del aire la velocidad de régimen sería infinita y las fórmulas anteriores se reducirían á las conocidas de la caída de los cuerpos en el vacío:

$$t=\frac{v}{g}\ \text{y}\ h=\frac{v^2}{2g}.$$

Figª 3.



Figª 6.



La forma de la trayectoria del proyectil con relación al suelo, suponiendo que el globo fuera arrastrado por un viento de velocidad V', sería, en el caso de que el valor

$$\frac{P}{KS}$$

del proyectil fuera tan grande que la resistencia del aire fuera despreciable, una parábola de eje vertical cuyo foco estaría debajo del globo en el momento de arrojar el proyectil á una distancia

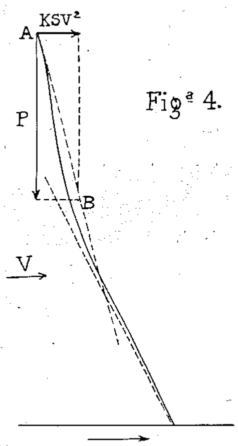
$$\frac{V'^2}{2g};$$

pero teniendo en cuenta la resistencia del aire, la trayectoria se convierte en una curva tangente á esta parábola en su punto superior, situada en su totalidad por debajo de ella á tanta mayor distancia cuanto menor fuera la relación

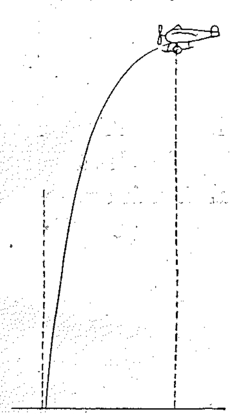
$$\frac{P}{KS}$$

del proyectil. Como en este caso el proyectil siempre estaría en la vertical del globo durante su caída, la puntería sería muy fácil, pues bastaría llevar á bordo una tabla de tiempos t de caída de proyectil en función de la altura h, un altímetro y un aparato de puntería consistente en una regla horizontal AA' graduada, fig. 3, y verticalmente sobre el cero de ella un ocular O. Estando colocada la regla en la dirección de la marcha de la aeronave se dirigirá una visual por O al blanco y se contará el número de divisiones de la regla que recorre la visual en un número de segundos t, igual al que, según la tabla, tardaría el proyectil en caer desde la

Figª 4.



Figª 7.



altura h á que se encuentra el globo sobre el nivel del blanco *(la que conoceríamos por el altímetro y el plano acotado del terreno)* y al llegar la visual á una división antes del cero de número igual á las que haya recorrido en los t segundos, se deberá arrojar el proyectil que llegará al blanco en el momento en que el globo pase por su vertical.

Ahora veamos cómo habrá que proceder en el caso de aeronave atacante animada de una cierta velocidad propia dentro de la masa de aire que la arrastra.

La mayor parte de los autores que se han ocupado de este asunto han considerado este caso reducido al anterior, haciendo el siguiente razonamiento que á nuestro juicio es erróneo.

Según ellos, el proyectil arrojado desde un aeroplano en marcha recibe durante su caída, además de las dos fuerzas que hemos considerado en el caso anterior *(peso y resistencia vertical del aire)*, la acción de la resistencia horizontal del aire al movimiento de traslación debido á la velocidad propia del aeroplano, cuya última fuerza por ser horizontal no ejerce ninguna influencia en el componente vertical del movimiento del proyectil. Esto es como suponer que éste recibe simultáneamente la acción de dos vientos relativos, uno vertical debido á la velocidod v de caída y otro horizontal producido por la velocidad propia V de marcha del aeroplano. Para obtener la trayectoria en este caso, puesto que los movimientos verticales del proyectil son iguales á los del caso anterior, no habría más que retrasar, horizontalmente, cada punto de la trayectoria una magnitud igual al desplazamiento que produciría en el proyectil la acción de un viento V durante el tiempo de caída correspondiente al punto considerado. Calculado este desplazamiento para los pesos y formas de los proyectiles y para la velocidad propia de los aeroplanos y altura á que se efectuaría el tiro, resulta un error despreciable y por lo tanto aconsejan que se prescinda de la resistencia horizontal del aire á la marcha del proyectil y se suponga prácticamente que éste en su caída está siempre en la vertical del aereplano como en el caso del globo libre.

Cualquiera que haya efectuado esta clase de tiro aéreo habrá notado que el proyectil en su caída se retrasa notablemente con relación al aeroplano y que llega al blanco bastante después de haber pasado aquel por su vertical. La explicación de este desacuerdo de la teoría con la práctica estriba en que el razonamiento anterior es falso, porque un cuerpo sometido simultáneamente á las velocidades dentro del aire no recibe la acción de los vientos relativos correspondientes á cada una de ellas, sino la acción de uno solo correspondiente á la velocidad resultante de aquellas dos, lo que es muy distinto. En efecto, si el proyectil tiene una velocidad vertical v y otra horizontal V, se moverá según la resultante

$$W = \sqrt{V^2 + v^2},$$

y recibirá un viento relativo según esta dirección que le originará una resistencia$= K\,S\,W^2 = K\,S\,(V^2 + v^2)$. Esta resistencia tendrá una componente vertical

$$K\ S\ V\sqrt{V^2 + v^2}$$

mayor que $K\,S\,v^2$, que es la resistencia del viento vertical v, y una componente horizontal

$$K\ S\ v\sqrt{V^2 + v^2},$$

también mayor que $K\,S\,V^2$, resistencia del viento horizontal v.

De aquí se deduce que la velocidad horizontal del proyectil dentro del aire aumenta la resistencia vertical y disminuye la velocidad de caída y, por lo tanto, un proyectil arrojado desde un globo libre llegará al suelo en menos tiempo que otro igual arrojado desde un aeroplano á la misma altura, tardando éste tanto más en su caída, cuanto mayor sea la velocidad propia del aeroplano y que el desplazamiento horizontal producido por la componente horizontal de la resistencia del aire es mucho mayor que la que se había calculado, y hay que tenerla en cuenta al hacer la puntería.

En el momento de arrojar el proyectil desde el aeroplano, se encuentra sometido á dos fuerzas, fig. 4, una horizontal, igual á

$$K\,S\,V^2,$$

producida por la resistencia del aire, y otra vertical qne es su peso P; por lo tanto, en este primer momento de la caída, el proyectil seguirá con relación al aeroplano la dirección de la resultante de las dos fuerzas, que formará con la horizontal, y en sentido contrario á su marcha, un *ángulo inicial de caída*, cuya tangente será

$$\frac{P}{K\,S\,V^2}.$$

Una vez iniciado el movimiento oblícuo descendente la componente horizontal de la velocidad del viento relativo disminuye por retrocer el proyectil bajo su acción, y, por lo tanto, disminuye más rápidamente la componente horizontal de la resistencia, que es proporcional á su cuadrado. La fuerza vertical, igual al peso menos la componente vertical de la fuerza del aire, disminuye también por crecer ésta, pero más lentamente, por ser al principio muy pequeña la velocidad de caída y la trayectoria que en el primer momento seguía la dirección de la resultante A B se curva hacia abajo (sin llegar á hacerse vertical, porque la resistencia horizontal no puede nunca anularse por completo) hasta un cierto momento en que, por haber aumentado la velocidad de caída, la fuerza vertical disminuye tanto que la trayectoria presenta un punto de inflexión y disminuye su inclinación, acercándose indefinidamente á un *ángulo de régimen de caída*, cuya tangente es

$$\frac{\sqrt{\frac{P}{K\,S}}}{V},$$

que corresponde á un tiempo igual al infinito, en el cual el proyectil ha llegado á tener la velocidad horizontal V del viento relativo y, por lo tanto, no recibe ninguna acción de él y además cae con la velocidad vertical de régimen

$$\sqrt{\frac{P}{K\,S}},$$

por lo que también la fuerza vertical se anula. La tangente de este ángulo de caída es precisamente igual á la raíz cuadrada de la del ángulo inicial, y, por lo tanto, según que ésta sea mayor, igual ó menor que la unidad, ó sea, si la velocidad propia del aeroplano es menor, igual ó mayor que la del régimen del proyectil, el ángulo de régimen de caída será menor, igual ó mayor que el inicial. La forma de la trayectoria de caída con relación á la aeronave atacante será, pues, en estos tres casos la dibujada en la fig. 5. Estas trayectoria son fijas y determinadas para cada tipo de aeroplano independientemente del viento V' y pueden tenerse trazadas por experiencias previas, de las que se deducirán las tablas de tiro que den, para cada altura h del aeroplano sobre el terreno, el número t de segundos invertido en la caída y el retroceso r sufrido por el proyectil con relación al aeroplano. La puntería se haría por el mismo procedimiento que en el caso de globo libre, contando el número n de divisiones de la regla que recorre la visual al blanco en t segundos y arrojando el proyectil al llegar la visual á la división $n—r$, fig. 6.

También se puede tener calculada una tabla de doble entrada que dé el valor de la división $n—r$, en la que habrá que arrojar el proyectil, conociendo la altura y los segundos que tarda la visual en recorrer un determinado número de divisiones. Este es el procedimiento empleado en los aparatos de puntería *Carbonit*, de Hamburgo, que consisten en una cámara obscura, en cuyo cristal esmerilado se sigue el movimiento del blanco sobre una recta graduada dibujada en él.

La trayectoria con relación al terreno sería una curva inferior á la de la figura 2, tangente á ella en su punto superior, y cuya inclinación iría aumentando indefinidamente, hasta hacerse vertical en el infinito, fig. 7.

La operación de la puntería se efectúa muy fácilmente con solo tener alguna práctica, y excepto en el caso de que la atmósfera esté muy agitada, se puede tener una gran precisión en los impactos.

Los proyectiles empleados generalmente son granadas de percusión, de peso variable desde tres hasta cien kilogramos, según que se empleen desde aeroplanos ó dirigibles, pero del mismo coeficiente

$$\frac{P}{KS},$$

para que les sean aplicables las mismas tablas de tiro. Tienen formas de pera, con las masas repartidas de tal modo que el proyectil al caer se oriente presentando la mínima resistencia al aire, ó sea con el mayor peso en la parte más ancha. La carga interior es de trilita *(trinitrotolueno)*, de un peso igual á los tres cuartos del proyectil y la espoleta tiene un mecanismo de seguridad consistente en una hélice exterior que gira durante la caída por la acción del aire, y al cabo de un cierto número de vueltas desembraga y deja dispuesto el percutor para funcionar, que sin esto no puede producir la explosión, aunque el aeroplano sufriera una caída ó un aterrizaje brusco. Las granadas empleadas para batir tropas sin protección, llevan, además, una varilla larga por debajo que provoca la explosión antes de que se entierre la granada en el suelo y las destinadas á la destrucción de edificios tienen un retardador que permite á las granadas atravesar las cubiertas antes de hacer explosión.

Las granadas más comunmente empleadas tardan unos catorce segundos en llegar al suelo siendo arrojadas desde un aeroplano á mil metros de altura, marchando á ciento diez kilómetros por hora de velocidad en aire en calma; se arrojan unos diez segundos antes de llegar á la vertical del blanco y llegan á él cuatro segundos después de haber pasado.

Se ha propuesto el empleo de pequeños proyectiles flechas fusiformes que, arrojados en gran número desde un aeroplano, llegarían á tierra con una fuerza viva suficiente para causar efectos mortíferos sobre tropas sin protección. Para esto, el peso minimum necesario de cada proyectil es de treinta gramos, pudiendo tener diez milímetros de calibre. Estos proyectiles, cayendo desde 700 metros de altura, tendrían 100 metros por segundo de velocidad y una fuerza viva de 15 kilográmetros. Su efecto de penetración sería algo inferior á la mitad del de una bala Mauser á dos mil metros de distancia horizontal. La velocidad de régimen de estas flechas es de 138 metros por segundo. Parece que el ejército francés ha empleado estas flechas en la guerra actual pero creemos fácil demostrar que, aun contra tropas sin protección, su empleo ha de ser mucho menos eficaz que el de los proyectiles explosivos á igualdad de peso total.

En efecto, según experiencias hechas en el aerodromo de Cuantro-Vientos, la explosión de un proyectil de trilita de tres kilogramos de peso dejaría fuera de combate á todo hombre situado en una superficie de 600 metros cuadrados alrededor de la bomba; en cambio, un proyectil flecha que, arrojado desde más de 700 metros llegaría al suelo casi verticalmente, sólo dejaría fuera de combate al hombre que estuviera situado en su trayectoria, ó sea, que tendría una superficie de acción de medio metro cuadrado aproximadamente; y, por lo tanto, empleando flechas de treinta gramos, con tres kilogramos de peso total de ellas, ó sean 100, debidamente espaciadas, sólo se obtendría una superficie de acción de cincuenta metros cuadrados, doce veces inferior á la obtenida con proyectil explosivo.

Esto, unido á la acción destructora que éstos últimos pueden tener sobre las construcciones, y el efecto moral producido por la explosión, hace ver claramente la superioridad en eficacia de los proyectiles exploxivos sobre las flechas que compensa con mucho las ventajas de facilidad y seguridad en el transporte que puedan ofrecer éstas sobre los primeros.»

Emilio Herrera.
Capitán de Ingenieros.

CRÓNICAS DE ALEMANIA

UN VIAJE FELIZ

Vengo de Meersburg.

Meersburg es un pueblecito que está situado en el lago de Konstanza, separado de esta última ciudad por un brazo, golfo ó como se quiera llamar, del lago, recorrible en veinticinco minutos usando unos barquitos muy aceptables, *trasatlánticos lacustres*, que cuentan con todos los refinamientos del *confort*.

Fuí á Meersburg para hacer información, cosa dificilísima en estos tiempos,