

Capítulo Tercero

La Resistencia del Medio

La Bala y el Aire

Todo el mundo sabe que el aire dificulta el vuelo; de las balas, pero son pocos los que tienen una idea clara de lo enorme que es el efecto retardador del aire. La mayoría de las personas piensan, que un medio tan delicado como el aire, cuya resistencia ni sentimos siquiera, no puede dificultar sensiblemente el raudo vuelo de una bala de fusil.



Fig. 28. El vuelo de una bala en el vacío y en el aire. El arco mayor representa la trayectoria que seguiría la bala si no existiera la atmósfera. El arco menor, la trayectoria real de la bala en el aire

Pero fijémonos en la fig. 28 y veremos, que el aire es un obstáculo de extraordinaria importancia para la bala. El arco mayor de esta figura representa la trayectoria que seguiría la bala si no existiese la atmósfera. Después de salir del cañón (con un ángulo de elevación de 45' y una velocidad inicial de 620 m/seg), la bala describiría un enorme arco de 10 km de altura y su alcance sería de cerca de 40 km. Pero en realidad, una bala disparada con el ángulo de elevación y la velocidad inicial antedichos, describe un arco de curva relativamente pequeño y sólo alcanza 4 km. Este arco casi no se nota en la figura al lado del primero. ¡He aquí el resultado de la resistencia del aire! Si no fuera por él, se podría disparar con fusil contra un enemigo que se encontrase a 40 km, lanzando una lluvia de plomo a. . . ¡10 km de altura!

Tiro de Gran Alcance

Al final de la primera guerra mundial (1918), cuando los éxitos de la aviación francesa e inglesa dieron fin a las incursiones aéreas enemigas, la artillería alemana puso en práctica, por primera vez en la historia, el bombardeo de ciudades enemigas situadas a más de cien kilómetros de distancia. El estado mayor alemán decidió emplear este nuevo procedimiento para batir la capital francesa, la cual se encontraba a más de 110 km del frente.

Hasta entonces nadie había probado este procedimiento. Los propios artilleros alemanes lo descubrieron casualmente. Ocurrió esto al disparar un cañón de gran calibre con un gran ángulo de elevación. Inesperadamente, sus proyectiles alcanzaron 40 km, en lugar de los 20 calculados. Resultó, que estos proyectiles, al ser disparados hacia arriba con mucha inclinación y gran velocidad inicial, alcanzaron las altas capas de la atmósfera, en las cuales, debido al enrarecimiento, la resistencia del aire es insignificante. En este medio poco resistente es donde el proyectil recorrió la mayor parte de su trayectoria, después de lo cual cayó casi verticalmente a tierra. La fig. 29 muestra claramente la gran variación que experimentan las trayectorias de los proyectiles al cambiar el ángulo de elevación.

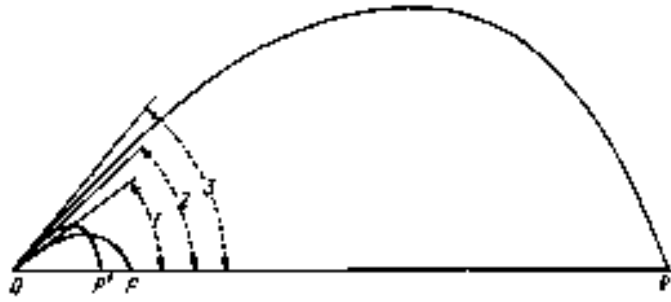


Fig. 29. Variación del alcance de un proyectil al ir variando el ángulo de elevación de un cañón de ultralargo alcance. Con el ángulo 1 el proyectil cae en el punto P; con el ángulo 2, en el P'; con el ángulo 3, el alcance aumenta de golpe en varias veces, puesto que la trayectoria del proyectil pasa por capas rarificadas de la atmósfera.

Esta observación sirvió de base a los alemanes para proyectar un cañón de gran alcance, para bombardear París desde una distancia de 115 km. Este cañón terminó de fabricarse con éxito, y durante el verano de 1918 lanzó sobre París más de trescientos proyectiles. He aquí lo que después se supo de este cañón.



*Fig. 30. El cañón alemán «Gran Bertha».
Aspecto exterior*

Consistía en un enorme tubo de acero de 34 m de largo y un metro de grueso. El espesor de las paredes de la recámara era de 40 cm. Pesaba en total 750 t. Sus proyectiles tenían un metro de

largo y 21 cm de grueso, y pesaban 120 kg. Su carga requería 150 kg de pólvora y desarrollaba una presión de 5 000 atmósferas, la cual disparaba el proyectil con una velocidad inicial de 2 000 m/seg. El fuego se hacía con un ángulo de elevación de 52' y el proyectil describía un enorme arco, cuyo vértice o punto culminante se encontraba a 40 km de altura sobre la tierra, es decir, bien entrado en la estratosfera. Este proyectil tardaba en recorrer los 115 km, que mediaban entre el emplazamiento del cañón y París, 3,5 minutos, de los cuales, 2 minutos volaba por la estratosfera.

Estas eran las características del primer cañón de ultralargo alcance, antecesor de la moderna artillería de este género.

Cuando mayor sea la velocidad inicial de la bala (o del proyectil), tanto mayor será la resistencia del aire. El aumento de esta resistencia no es proporcional al de la velocidad, sino más rápido, es decir, proporcional al cuadrado, al cubo y a potencias aún mayores del aumento de la velocidad, según el valor que ésta alcance.

¿Por Que se Remontan las Cometas?

Las cometas se remontan cuando tiramos de la cuerda hacia adelante, ¿por qué?

Todo aquel que sepa responder a esta pregunta puede explicarse también por qué vuelan los aviones, por qué se trasladan por el aire las semillas de algunas plantas, e incluso, cuales son las causas que determinan los extraños movimientos del bumerang.

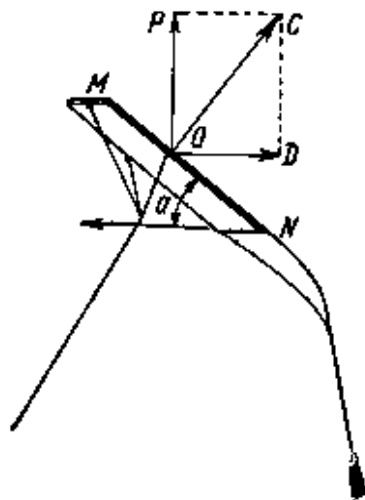


Fig. 31. Fuerzas que actúan sobre la cometa.

Todos estos movimientos son del mismo género. El mismo aire que se opone a que vuelen las balas y los proyectiles, es el que hace posible el vuelo, no sólo de las ligeras semillas y las cometas de papel, sino también de los pesados aviones que transportan decenas de pasajeros.

Para explicar cómo se eleva la cometa, recurriremos al dibujo simplificado de la fig. 31. Supongamos que la línea MN representa el corte de la cometa. Cuando al echar la cometa tiramos de su cuerda, aquélla avanza en posición inclinada, debido al peso de la cola. Convengamos en que este avance se realiza de derecha a izquierda; designemos el ángulo de inclinación del plano de la cometa, respecto al horizonte, con la letra α , y examinemos qué fuerzas actúan sobre la cometa al efectuarse este movimiento. El aire, como es natural, debe entorpecer el avance, ejerciendo cierta presión sobre la cometa. Esta presión está representada en la fig. 31 por medio

de la flecha OC. Como quiera que el aire presiona siempre en dirección perpendicular al plano, la línea OC formará en el dibujo un ángulo recto con la MN. La fuerza OC se puede dividir en dos, construyendo lo que se llama el paralelogramo de fuerzas. Hecho esto, en lugar de la fuerza OC tendremos las dos fuerzas OD y OP. De ellas, la fuerza OD empuja nuestra cometa hacia atrás, y, por consiguiente, disminuye su velocidad inicial. La otra fuerza, es decir, la OP, tira del artefacto hacia arriba, disminuye su peso y, si es suficientemente grande, puede vencer el peso de la cometa y elevarla. Esta es la explicación de por qué se remonta la cometa, cuando tiramos de su cuerda hacia abajo.

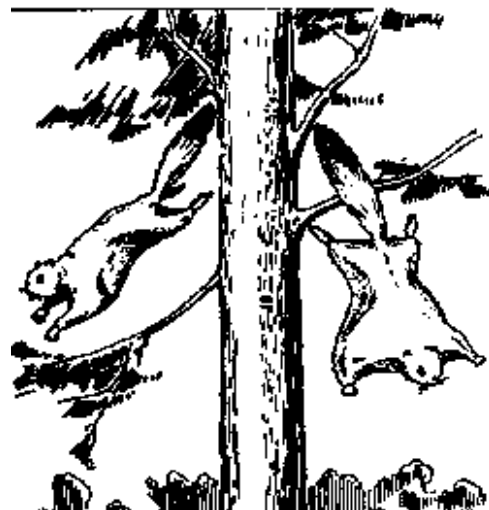
El avión es lo mismo que la cometa, con la única diferencia de que la fuerza motriz que actúa en él no es la de nuestra mano, sino la de una hélice o de un motor a reacción, la cual impulsa hacia adelante el aparato y, por lo tanto, hace que éste se eleve de forma semejante a como lo hace la cometa.

El esquema que acabamos de dar está muy simplificado. Hay otras circunstancias que también influyen en la elevación de los aviones y de las cuales trataremos en otro lugar¹.

Planeadores Vivos

Como hemos visto, el vuelo de los aviones no se parece al de los pájaros, como suele pensarse de ordinario, sino más bien al de las ardillas voladoras, al de los dermópteros y al de los peces voladoras.

*Fig. 32. Ardillas voladoras planeando.
Estas ardillas saltan desde sitios altos y
alcanzan distancias de 20-30 m.*



Aunque estos animales no emplean sus membranas alares para remontarse, sino únicamente para dar grandes saltos, es decir, para «descender planeando», como diría un piloto.

La fuerza OP (fig. 31) es insuficiente en este caso para equilibrar totalmente el peso del cuerpo, pero contribuye a aligerar al animal y, de esta forma, le ayuda a dar enormes saltos desde puntos elevados (fig. 32). Las ardillas voladoras cubren distancias de 20-30 m, llegando, desde la cúspide de un árbol, hasta las ramas inferiores de otro. En las Indias Orientales y en Ceilán se cría una especie de ardillas voladoras, llamadas caguán, las cuales llegan a tener el tamaño de un gato ordinario. Cuando el caguán abre su «planeador», alcanza medio metro de anchura. Estas grandiosas membranas alares (patagio) lo permiten realizar vuelos de hasta 50 m, aunque su peso

¹ Véase el artículo «Ondas y remolinos» del libro segundo de «Física Recreativa».

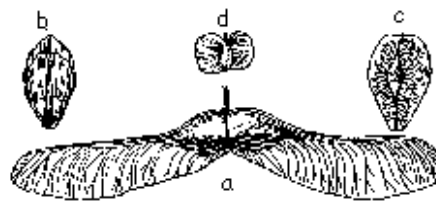
es considerable. Pero los dermópteros de las Islas de la Sonda y de Filipinas alcanzan aún más y llegan hasta los 70 m.

Los Vuelos Sin Motor y las Plantas

Las plantas también recurren con frecuencia a la comodidad que les ofrece el planeador, para propagar sus semillas y frutos. Muchas semillas y frutos están provistos de mechones de pelitos (como los vilanos del diente de león, del tragopogon y del algodón), los cuales actúan de forma semejante a los paracaídas, o de unos planos sustentadores, en forma de retoños, salientes, etc. Estos planeadores vegetales pueden observarse en las coníferas, arces, olmos, abedules, carpe, tilos, en muchas umbelíferas, etc.

En el libro «Vida de las Plantas», de Kerner von Marilaun, leemos sobre esto lo siguiente: «Los días de sol, cuando no hace viento,

Fig. 33. Semillas voladoras: a - sámara del arce; b - semilla del pino; c - del olmo; d - del abedul.



las corrientes verticales de aire elevan a considerable altura multitud de semillas, pero una vez que el sol se pone, éstas vuelven a caer generalmente en lugares próximos. La importancia de estos vuelos reside, en que sirven, no tanto para propagar las plantas a zonas más amplias, como para arraigarlas en las cornisas y en las grietas de las abruptas laderas y en los tajos de las montañas rocosas, sitios a los que las semillas no podrían llegar de otra forma. Las corrientes horizontales e las masas de aire pueden transportar las semillas y los frutos que planean, a distancias considerablemente grandes.

Algunas plantas tienen las semillas unidas a las alas o a los paracaídas únicamente durante el vuelo. Las semillas del onopordon, por ejemplo, vuelan tranquilamente por el aire, pero en cuanto se encuentran con un obstáculo, se desprenden de su paracaídas y caen al suelo. Este hecho explica por qué el onopordon crece con tanta frecuencia a lo largo de paredes y vallas. En otros casos, la semilla permanece unida a su «paracaídas».

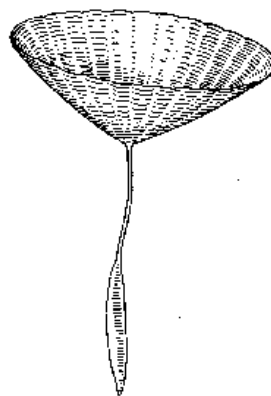


Fig. 34. Fruto del tragopogon

En las fig. 33 y 34 se muestran algunas semillas y frutos provistos de «planeadores».

Los planeadores de las plantas son, en muchos sentidos, más perfectos que los fabricados por el hombre. En comparación con su propio peso, pueden levantar mucho más carga. Además, estos aeroplanos vegetales se caracterizan por su estabilización automática. Si, por ejemplo, se invierte una semilla de jazmín de la India (*jasminum sambac*), ella misma vuelve a colocarse con su lado convexo hacia abajo, y si esta misma semilla encuentra un obstáculo, no pierde el equilibrio ni se cae, sino que desciende suavemente.

El Salto Retardado del Paracaidista

Al llegar aquí, nos vienen a la memoria los heroicos saltos de los deportistas soviéticos, maestros de paracaidismo, que se lanzaron desde una altura de cerca de 10 km y no abrieron sus paracaídas hasta haber recorrido una parte considerable de su camino. Sólo entonces tiraron de la anilla y bajaron los últimos centenares de metros planeando en sus «sombrillas»².

Muchos piensan, que, al caer como una piedra, sin abrir el paracaídas, el deportista vuela hacia abajo como si fuera en el vacío. Si esto fuera así, es decir, si el cuerpo humano cayese en el aire lo mismo que en el vacío, el salto retardado duraría mucho menos y la velocidad final que desarrollaría el paracaidista sería enorme.

Pero la resistencia del aire evita el incremento de la velocidad. Durante el salto retardado, la velocidad que lleva el cuerpo del paracaidista aumenta únicamente durante los primeros diez segundos, es decir, durante los primeros centenares de metros. Al aumentar la velocidad crece tanto la resistencia del aire, que pronto llega un momento, a partir del cual, la velocidad permanece invariable. El movimiento acelerado pasa a ser uniforme.

Por medio de cálculos se puede trazar, en rasgos generales, el cuadro de un salto retardado, desde el punto de vista de la mecánica. El tiempo que dura la caída acelerada del paracaidista depende de su propio peso y suele ser de unos 12 segundos o algo menos. Durante esta decena de segundos tiene tiempo de descender unos 400-450 metros y alcanzar una velocidad de cerca de 50 m/seg. El resto del camino, hasta que abre el paracaídas, transcurre ya con movimiento uniforme, a esta misma velocidad.

De igual manera, aproximadamente, caen las gotas de lluvia. La única diferencia consiste en que, el primer período de

Fig. 35. Procedimiento de cazar con bumerang que emplean los australianos para sorprender a sus víctimas desde un escondite. La trayectoria que sigue el bumerang (en caso de fallar el tiro) es la que indica la línea de puntos.



la caída de estas gotas, es decir, cuando su velocidad aumenta aún, dura cerca de un segundo. Por consiguiente, la velocidad final de las gotas de lluvia no es tan grande como la de los

² En 1963 unos paracaidistas soviéticos se lanzaron desde 25 kilómetros de altura. (N. de la Edit.)

paracaidistas que se lanzan en salto retardado. Esta velocidad suele oscilar entre 2 y 7 m/seg, según sean las dimensiones de las gotas³.

El Bumerang

El bumerang es un arma muy original, que puede considerarse como la creación más perfecta de la técnica del hombre primitivo y que durante muchos años fue la admiración de los científicos. Efectivamente, las figuras tan extrañas e intrincadas que describe el bumerang en el aire (fig. 35), pueden preocupar a cualquiera.

En la actualidad, la teoría del vuelo del bumerang ha sido detalladamente elaborada y lo que parecía un prodigio ha dejado de serlo.

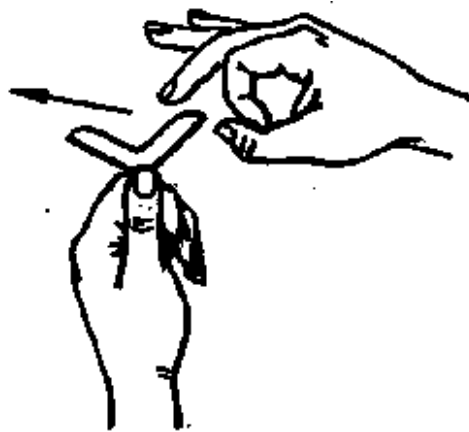


Fig. 36. Bumerang de cartulina y procedimiento de lanzarlo.

Nosotros no vamos a ocuparnos de estos interesantes pormenores. Diremos solamente, que la extraordinaria trayectoria que describe el bumerang es la resultante de la acción mancomunada de tres factores: 1) del impulso inicial con que se lanza, 2) de la rotación del propio bumerang y 3) de la resistencia del aire. Los australianos saben combinar intuitivamente estos tres factores y cambian con habilidad el ángulo de inclinación del bumerang, la fuerza y la dirección del impulso con que lo lanzan, para conseguir los resultados apetecidos.

Naturalmente, cualquier persona puede adquirir cierta práctica en este arte.

Para ejercitarse dentro de una habitación hay que contentarse con un bumerang de cartulina, el cual puede recortarse de una tarjeta postal dándole la forma que se indica en la fig. 36. Cada rama debe tener una longitud aproximada de 5 cm y una anchura algo menor de 1 cm. Si sujetamos un bumerang de este tipo, introduciéndolo debajo de la uña del dedo pulgar, y lo damos un papirotazo en el extremo más próximo, de manera que el golpe resulte dirigido hacia adelante y un poco hacia arriba, el bumerang volará unos cinco metros, describirá suavemente una curva, que a veces suele ser muy complicada, y, si no choca con ningún objeto de la habitación, vendrá a caer a nuestros pies.

El experimento da mejor resultado si se le dan al bumerang la forma y las dimensiones que la fig. 37 muestra en tamaño natural. Es conveniente doblar un poco las ramas del bumerang en forma de hélice (fig. 37, abajo). Después de algún entrenamiento, puede conseguirse que este bumerang describa en el aire curvas complicadas y retorne al sitio de partida.

³ De la velocidad de las gotas de lluvia se habla más detalladamente en mi libro «Mecánica Recreativa» y de los saltos retardados, en «¿Sabe usted Física?»

Para terminar, queremos llamar la atención sobre el hecho de que el bumerang, a pesar de lo que generalmente se piensa, no es un arma que poseen exclusivamente los habitantes de Australia. También lo emplean en varios sitios de la India y, a juzgar por los restos de pinturas murales, fue empleado como arma ordinaria por los soldados asirios. En el antiguo Egipto y en Nubia también era conocido el bumerang (fig. 38).

Fig. 37. Otro tipo de bumerang de cartulina



Lo que sí es una cosa exclusiva de Australia es la forma ligeramente helicoidal que tenían sus bumerangs. He aquí por qué los bumerangs australianos describen curvas tan complejas y, cuando se yerra el tiro, retornan a los pies del que los lanzó.

Fig. 38. Figura de antiguo soldado egipcio, lanzando un bumerang.

