

acumula por delante, y se escurre siguiendo la ogiva de la bala, experimentando tanta mas resistencia, cuanto que la ogiva es obtusa. Por consiguiente, esto es lo que sucede en el vacío entre la parte anterior de la bala y el aire. Cuanto mas obtusa sea esa parte anterior, mayor tiene que ser la resistencia por parte del aire; así pues, la bala esférica con un peso igual al de la oblonga, tiene, ciertamente, ménos alcance que esta.

La punta, es decir: la extrema cima de la ogiva, no experimenta sino, tal vez, en una proporción insignificante, la resistencia; toda ella se resiente en las superficies laterales del cono, por razón de su ángulo de inclinación. A medida que este ángulo se hace obtuso la resistencia crece, y, en el momento de llegar al punto en que se confunde con una recta, encuéntrase muy próximo á sufrir el máximun de la resistencia.

Las burbujas que se desprenden del agua, cuando un sólido cualquiera cae en ella, creemos que son los glóbulos de aire que por todas partes se adhieren á la superficie de ese cuerpo inundado de fluido aéreo, ántes de embeberse en el fluido líquido. Por consiguiente, á medida que el sólido penetra en el agua pierde el fluido aéreo que se desprende arrojado por el líquido que es mas denso, y que, mas ligero que este, monta á la superficie.

Ejemplo: que se cubra de aceite una bala esférica y que en seguida se la deje caer en el agua: el aceite, sin duda alguna, desprendiéndose de la bala, subirá á la superficie del agua, y de esta manera el fluido formará la onda aérea.

Para completar esta disertación sobre la trayectoria de la bala oblonga, citaremos la experiencia hecha en un campo de tiro, en Bélgica, con las balas prolongadas, á fin de conocer y comprobar prácticamente la forma ver-

dadera y la elevacion de la trayectoria que recorren estos proyectiles en el tiro á mil pasos (750 metros).

Durante los experimentos oficiales que se hicieron en presencia de la comision reunida con este fin, Mr. Charrin, capitán de la artillería belga, de cuyos informes impresos tomamos estas noticias, se propuso observar con persistente empeño ciertos fenómenos del tiro, y en particular los concernientes á las trayectorias; y en este sentido sobre todo, algunos de los efectos observados le causaron una gran sorpresa, por su completo desacuerdo con el espíritu de las teorías que se trataba de rectificar.

Así, por ejemplo, se habia dicho que la trayectoria de la bala Peeters describia una parábola regular, cuyo tiro á mil pasos, punto culminante, apénas alcanzaba una altura de trescientos metros arriba del suelo. Se fijaba la situacion de la flecha, correspondiente á la cima de esa trayectoria, en 6, 10^m, distancia sobre el suelo, ó sea á 600 pasos del tirador. Por consiguiente, en lo que concierne á la altura de la flecha, los experimentos preparatorios que el capitán Charrin ejecutó con anterioridad comparando la bala Peeters con la suya, dieron suficientes motivos para creer que, la valuacion mínima de la trayectoria que acabamos de enunciar, era errónea, es decir: mucho menor que la altura verdadera, y he aquí por qué: el capitán Charrin se colocó, para ejecutar su tiro, en medio de una gran avenida que costea á la derecha una especie de canal prolongado por un estanque inmediato al campo de tiro, con tres inmensos árboles en cada lado, cuyas ramas formaban arriba del suelo, confundíendose entre sí, una bóveda bastante compacta y elevada. Cuando el tirador habia disparado ya á distancia de 800 pasos, se observó que las balas, en el curso del trayecto, tocaban casi siempre las ramas de la bóveda;

y desde el momento en que el capitán Charrin aumentó la distancia á 1000 pasos, el hecho se repitió con tanta frecuencia y se hizo tan molesto, que hubo necesidad de abatir ciertos brazos que á 700 pasos desviaban, ó contenían el curso de los proyectiles. Además de oirse distintamente el golpe seco, peculiar al choque de la bala contra un objeto, á veces sucedia que el brazo mas á menudo expuesto á los tiros caía al suelo. Por consiguiente, bien que se acogiera con cierta duda la prediccion del inventor sobre este punto, durante las primeras sesiones de los experimentos oficiales, cuando se emprendió el tiro á 900 pasos fué necesario rendirse á la evidencia, por cuyo motivo la comision ordenó que se suspendiera el experimento, trasladando la placa del blanco á un lugar fuera de la avenida de árboles, puesto que los proyectiles chocaban á menudo con el follaje, segun se manifestó en el informe oficial dirigido al ministro de la guerra.

Se estaba muy léjos de la trayectoria de corta elevacion que se discutía á la sazón, pues á la simple vista podíase valuar la altura de las ramas tocadas, en 14 ó 15 metros arriba del suelo, cuando, como pudo comprobarse despues, y como se va á ver, la verdadera era superior á la que se suponía.

En cuanto á la forma de la trayectoria de las balas prolongadas, diversos hechos hicieron creer que no era, ni podia serlo, la parábola regular sugerida por la teoría. Las primeras dudas sobre este punto ocurrieron durante las primeras experiencias preparatorias, cuando por preservar el centro de la gran placa, destinado á otros experimentos, el capitán Charrin se colocaba cerca de los árboles, á derecha ó izquierda de la avenida, y apuntaba á los costados del blanco, á fin de reemplazar mas fácilmente las planchas rozadas por los proyectiles. Na-

turalmente, algunas veces sucedía que el proyectil, desviándose un poco, rozaba los árboles, dejando una marca mas ó ménos profunda en la corteza.

La casualidad, no pocas veces, hacía que una bala, rozando muy ligeramente algunos de los árboles colocados sobre la misma línea, indicara su trayecto de la manera mas palpable en una prolongacion de varios centenares de pasos. Estas diversas huellas indicaban muy aproximadamente la altura y la direccion de la trayectoria, de modo que, sentadas en el papel con las indicaciones necesarias, no podían ménos que dar en un cierto tiempo una trayectoria del todo diferente á la parábola.

Sin embargo, como la menor desviacion vertical que hubiera podido ocasionar el contacto, por ligero que fuera, entre la bala y el árbol, podía engañar al tirador, el capitán Charrin se abstuvo de admitir como concluyentes estos datos ministrados por la casualidad, y decidió precisar la curva del proyectil por medio de experiencias serias y minuciosas. Y de esto se ocupó con especial empeño desde el momento en que terminaron los experimentos oficiales.

Estos trabajos particulares ofrecieron tanto interés á la observacion, que el capitán Charrin creyó conveniente anotar todos los detalles, los cuales publicados nos ponen en disposicion de resumir aquí esa série, en compendio por supuesto, segun los extractos formados en el terreno mismo.

El tirador hizo uso de la bala Peeters, así como de la de Charrin-Peeters, esta sin núcleo, y la plena de Tamisier para la carabina de espiga, la cual, bien que diere una trayectoria ménos rasante que las otras, produjo notoriamente los mismos resultados, bajo el punto de vista de la trayectoria de las balas prolongadas, razon

por la cual se creyó que estas obrarian del mismo modo, en lo general, en lo que concierne á la forma de dicha trayectoria.

El tiro se efectuó á la distancia de mil pasos con el fusil rayado de la infantería belga, modelo del 1853, y su carga ordinaria de ordenanza. Alza, 10 milímetros; ángulo de proyeccion, $3^{\circ} 32'$; diámetro de la rosa del blanco, 80 centímetros; centro de la rosa, un metro distante arriba del suelo, cuyo nivel indicaba la cima de 40 piquetes plantados en tierra á cada 25 pasos, á fin de dar al terreno una línea perfectamente horizontal.

Treinta y nueve bandas de papel de tapicería, numeradas desde 1 á 39, suspendidas vertical y transversalmente en la prolongacion de la avenida, á 25 pasos entre sí, la primera á igual distancia del tirador, y la última á la misma adelante de la placa, fueron dispuestas de manera que reunidas por una de sus extremidades á igual número de hilos, los dos cabos de estos vinieran á fijarse á una gruesa cuerda lateral, yacente en tierra, costeano los árboles de la avenida, hasta el momento en que, todo preparado, solo faltara enganchar simultáneamente las dos cuerdas á otros tantos garfios fijos á los árboles á distancias respectivas. Las bandas formadas por la reunion de bordo á bordo, adheridos estos por dos fajas del mismo papel, presentaban el ancho total de un metro. La cima se elevaba á 24 metros arriba del suelo, y á dos de distancia de este quedaba suspendida la extremidad inferior, para dejar perfectamente á descubierto la rosa de la placa y la línea de mira, á pesar del caimiento que diversas causas podían producir en los medios de suspension, durante el tiempo que habria de transcurrir ántes de comenzar el tiro. El tiempo fué magnífico, por fortuna, y ni una sola banda sufrió el menor desórden. (Véase lám. II fig. I. A.)

El capitán Charrin disparó cien balas de cada sistema, ó sea un total de 400. Cada serie de á 100 se registró en una columna particular.

Cuando se efectuó el examen de los puntos de pasaje de la trayectoria, por los agujeros que los proyectiles habían abierto en las bandas, se tomó el término medio del grupo de balas en el lugar de la flecha donde presentaba un diámetro vertical de 78 centímetros, que relativamente es de lo mas mínimo. Pero el capitán Charrin había pesado las cargas con suma precaucion, y apuntado con el mayor esmero á causa de la escasa anchura de las bandas, en las cuales se trataba de concentrar los tiros hasta donde fuera posible, para aprovechar el mayor número de los proyectiles.

La trayectoria descrita en la lámina II es la imagen exacta del término medio obtenido.

Resulta pues: 1° que desde la embocadura del fusil hasta la vigésima banda (500 pasos mas ó ménos), la trayectoria es tan tendida, que fácilmente se la podría confundir con una línea recta.

2°. Que desde la vigésima banda, mas ó ménos, el ángulo de la trayectoria se abre insensiblemente en proporcion de su curso precedente, bien que casi sin alejarse de la línea recta, y esto hasta la vigésima sexta banda (650 pasos), en donde comienza el apogeo de la trayectoria, el cual se mantiene, por decirlo así, hasta la trigésima banda (750 pasos).

3°. Que entre la vigésima sexta banda y la trigésima, esa especie de desarrollo de la trayectoria, bien que ligeramente curvo, se aproxima de tal manera á una línea recta, vecina de una horizontal, que no parece sino que en esta parte de su trayecto la bala prolongada se cierne, por decirlo así, horizontalmente. Sin embargo, la extrema cima de la flecha solo corresponde á la vigésima octava banda (700 pasos).

Pero este punto culminante, situado á veinte metros del suelo, apenas domina á 50 ó 60 centímetros los puntos de pasaje de la trayectoria á través de las bandas 26ª y 30ª. En esta última es en donde el descenso del proyectil se declara notoriamente, para en seguida progresar con rapidez describiendo una curva descendente mas marcada, y la mas pronunciada de toda la trayectoria hasta la placa del blanco.

La trayectoria, en el espacio, se compone pues en realidad de cuatro brazos arqueados y distintos, de los cuales tres se aproximan mas ó ménos á la línea recta, y el último forma una parábola muy marcada.

Hé aquí por qué: el primer brazo, desde el arma hasta 500 pasos mas ó ménos, es muy tendido porque la fuerza que el impulso imprime á la bala es bastante poderosa para dominar la resistencia del aire y la accion de la pesantez. El segundo brazo, de 500 á 600 pasos, presenta la figura de un arco cóncavo, cuya cuerda supera esta parte de la trayectoria. La abertura del ángulo de este segundo brazo, respecto del primero, es debida á que el proyectil comienza sensiblemente á perder su impulso; y la presión del aire, que es la que obra de una manera principal en su parte anterior, hace que esta se recobre impeliéndola hácia atrás, de tal manera que el cilindro sirve de auxiliar, aunque mas pesado; y el proyectil prolongado, tendiendo á retroceder, gira en torno de su centro de gravedad, y experimenta desde ese momento la desviacion observada. Es una verdadera derivacion vertical y normal, semejante á una oleada rápida al encontrar un obstáculo, que se eleva para superarlo y dejarlo atrás. Podríase evaluar en 45° el ángulo que forma el eje en relacion con la direccion de la trayectoria, en el punto culminante de esta.

Podríase tambien comprobar el cambio de posicion del

eje de la bala en el punto del trayecto de que se trata, tirando á tres hojas de estaño, muy delgadas, aplicadas á esta parte del pasaje de los proyectiles, en las cuales estos marcarían los agujeros de una manera tan neta, que facilitarían el que se distinguiese muy bien no solo la posición del eje de la bala, sino además todas sus canales.

Convencido de la exactitud de sus trabajos, el capitán Charrin acudió al empleo de las hojas de estaño, para comprobar el contorno de las superficies que presenta el proyectil en sus diversas posiciones y á otras distancias, y sobre todo á las de 300, 550 y 700 pasos. (Véanse en la lámina las huellas, fielmente reproducidas, de los agujeros abiertos en las hojas de estaño y en el blanco).

El tercer brazo, de 650 á 750 pasos, es también un poco arqueado, pero en un sentido contrario al precedente, es decir: forma un arco de cuerda *semi-tendido*, porque en esta porción de la trayectoria la acción de la pesantez supera lo bastante á la fuerza impulsiva para paralizar el movimiento ascensional de la bala, que, como se ha dicho ántes, en el espacio de cien pasos parece que se cierne horizontalmente, sin duda porque las dos fuerzas, impulso y pesantez, se contrapesan y equilibran.

El 4º brazo, de 750 á 1,000 pasos, figurando la prolongación de la parte de arco descendente del 3º, es el más curvo y el más inclinado hácia el suelo, porque la proporción del movimiento impreso por la fuerza motriz, disminuyendo más y más á medida que la bala se inclina hácia el punto de caída, hace que la fuerza aceleradora de la pesantez, al mismo tiempo que la de la atracción terrestre, se haga sentir tanto más cuanto más á tierra se aproxima el proyectil.

La experiencia ha comprobado que el proyectil, en el curso de esta línea última, cambia otra vez de posición

relativamente á la trayectoria, es decir: que la extremidad anterior de su eje se inclina lo bastante hácia tierra, para que la bala, al atravesar la última banda (975 pasos) y al alcanzar el blanco, penetre por la punta, cuyo eje se halla casi horizontal. Los agujeros abiertos por los proyectiles en estos dos puntos (975 y 1,000 pasos) presentaban una forma circular con un ligero ensanche arriba. Este último cambio de posición del eje del proyectil se explica muy bien, porque la resistencia en el movimiento, viniendo de abajo, obra principalmente en la parte cilíndrica y la repara poco á poco, debido á la forma del proyectil que influye mucho en la de la trayectoria.

De los experimentos emprendidos con tanto cuidado por el capitán Charrin, y de sus informes relativos á la trayectoria, formulados con toda fidelidad, así como de los datos prácticos obtenidos, siempre y en todos sentidos mucho más seguros que los provenientes de las teorías ó de los cálculos, cuando se trata de materias balísticas, no se puede titubear en declarar, que la trayectoria de las balas prolongadas no constituye la parábola comúnmente admitida hasta hoy, sino una línea ondulada, es decir: con varias curvaturas diversamente desviadas.

Este medio tan ingenioso y eficaz, no es el único para determinar de una manera práctica la *ordenada* de una trayectoria y sus *espacios peligrosos*.

Todas las trayectorias son susceptibles de determinarse por el cálculo; pero como las fórmulas de que hay que servirse encierran coeficientes determinados por la experiencia, se necesita indispensablemente rectificar las curvas por medio de trabajos prácticos ejecutados en el mismo campo de tiro; en caso de desacuerdo entre la teoría y el resultado obtenido por la experiencia, las trayectorias que se obtengan en el terreno deben preferirse

siempre; resulta de esto, que no deben considerarse los resultados hipotéticos del cálculo, sino como el punto de partida de los experimentos, cuyo método mejor es el de disparar á cada distancia un cierto número de tiros.

En este caso, primero se dispara á mampuesto, fijando el arma á la altura del hombro en un aparato de madera, en forma de caballete, guarnecido de cogines de piel. Se determina ántes que todo la puntería, se dispara en seguida un gran número de tiros y se busca el punto medio de intacto con relacion al objeto apuntado. Una vez conocido este punto se corrige la alza, segun una fórmula conocida en estos términos:

$$C = \frac{E \times L}{a}$$

Pero si se considera la resistencia del aire como proporcional al cuadrado de la velocidad del proyectil, en tal hipótesis, si V representa esta velocidad y P la resistencia del aire, se tendrá

$$P = \frac{V^2}{C}$$

expresion en la cual C es una constante determinada por las condiciones del problema, y cuyo valor para los proyectiles esféricos es

$$C = \frac{8 R d}{3 N d}$$

de dónde

$$P = \frac{0.373 d}{R d} n V^2$$

R representa el rayo de la esfera, D su densidad, P la del aire y N un coeficiente numérico relativo á la re-

sistencia del aire. Este último se suponía constante y ordinariamente igual á 1.6.

Tales fueron las fórmulas de los antiguos géometras al tratar de la piedra de toque de la resistencia del aire, es decir: la determinacion de los *espacios peligrosos* de la parábola. Mas volvamos á las balas oblongas y á las experiencias prácticas, pues despues de las fórmulas conocidas de Obénheim, Lombard y otros, han aparecido las de Hatton y Borda, Piobert, Didion, Tamisier, Timmerhans, etc., tentativas todas á cual mas diestra para poner de acuerdo con la práctica la expresion de la resistencia del aire; pero, como con sobrada razon opina el coronel Tersen, de la artillería belga: no basta encontrar la ley de la resistencia del aire; es preciso, además, integrar las ecuaciones diferenciales á las cuales conduce ella misma, y aún suponiendo que esto se lograra, cosa en que no debe ponerse la menor duda, no se tendrá todavía la verdadera expresion de la trayectoria de los proyectiles prolongados, animados por un movimiento de rotacion en torno de su eje, atendido á que la rotacion da lugar al nacimiento de una nueva fuerza que no puede dejarse desapercibida y de la cual hablaremos mas adelante.

Para el tiro á grandes distancias y cuando el terreno permite anotar fácilmente los puntos de caida, á menudo es mas ventajoso servirse de estos que de los de intacto; en efecto, el número de proyectiles puestos en el blanco no es suficiente para proveer los términos medios mas convenientes.

Cuando hay que servirse de los puntos de caida hay que hacer dos correcciones: 1ª. Traer el punto medio de caida al pié de la placa; 2ª. Levantar este punto á la altura del objeto apuntado.

La operacion de aproximar el punto medio de caida

al pié del blanco se efectúa con el auxilio de una simple proporción.

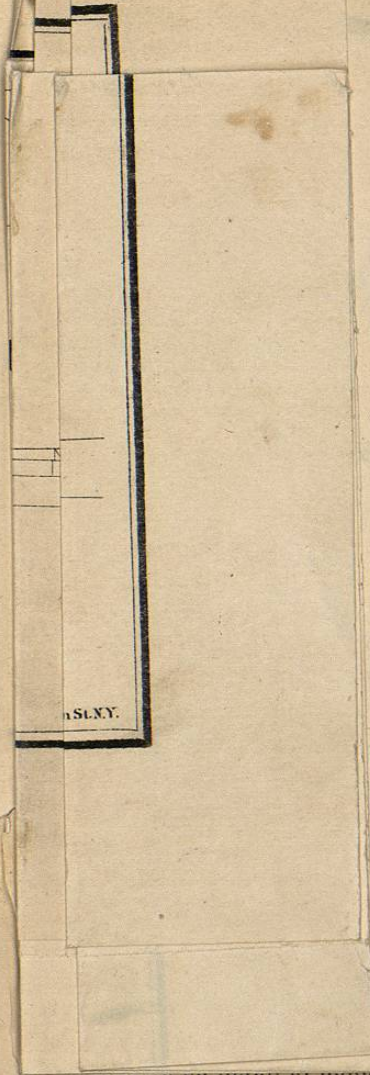
Este método es bueno, pero debe evitarse tomar el término medio sobre un número de tiros demasiado pequeño, pues entónces hay necesidad de hacer en cada uno dos anotaciones, en lugar de una, para poder medir el ángulo de caída.

CAPITULO VIII.

MOCION Y ROTACION.—CAUSAS QUE PRODUCEN LA MOCION.—MANERA DE INDICAR SU DIRECCION.—DESVIACION PRODUCIDA POR EL MOVIMIENTO DE ROTACION.—EXÁMEN DEL MOVIMIENTO DE LA BALA EN EL INTERIOR DEL CAÑON.—OBJETO DEL VIENTO.—EFECTOS DEL AIRE.—EFECTOS DEL MOVIMIENTO DE ROTACION HACIA UN EJE PARALELO Á LA TRAYECTORIA.

Entiéndese por *mocion* y *rotacion* el movimiento de todas las partículas de un cuerpo, que giran al derredor de un eje fijo interiormente. Así, por ejemplo, una rueda moviéndose en su eje, ó una extremidad en el punto que la sostiene, determinan la mocion de rotacion.

Causas que producen la mocion.—La mocion puede originarse de varios modos, pero vamos á describir solamente los mas indispensables para comprender y apreciar con propiedad el disparo de las armas. Si un cuerpo redondo, una bola de billar, supongamos, en estado inmóvil sobre una mesa, es impelida por una fuerza en un punto sobre el hemisferio posterior, este choque le imprime una mocion de impulso hácia adelante, que todas las partículas del cuerpo obedecen con igual velocidad; pero como los puntos que se apoyan en la mesa experimentan una friccion, y á causa de ella una resistencia, tienen que perder una parte de su velocidad, moviéndose



se describe en detail al hablarse de la mocion de las ba-