

# COMO SE CALCULA UN BOMBARDEO

## NOCIONES SOBRE LA TEORÍA DEL TIRO

Por el Comandante A. MONTEL

### *Consideraciones previas.*

El fin que perseguimos con estos artículos no es otro que el de exponer de una manera clara y esencialmente práctica la teoría del bombardeo, de modo que para su comprensión no sea necesaria más preparación matemática que la elemental; al mismo tiempo tenemos la pretensión de que no pierda nada en lo que se refiere a su técnica, ni en la eficiencia que es de desear en sus resultados, no obstante la sencillez o elementalidad de las explicaciones.

No pretendemos otra cosa que el lograr, en unos pocos artículos, dejar sentados conceptos fundamentales que puedan servir de base para otros estudios más profundos o más meticulosos, o para alimentar controversias.

No nos mueve otro objeto que el de la difusión de las enseñanzas adquiridas y el de la exposición de algunas observaciones y aclaraciones para facilitar el estudio y evitar dificultades que, no por insignificantes, dejan muchas veces de producir un insoportable tedio en la lectura o gran disminución en el ansia de mayor conocimiento.

En resumen, la meta que tratamos de alcanzar no es otra que la que puede representar el "alertar" a la mayoría de los componentes de nuestro Ejército del Aire—decimos mayoría, porque en realidad así es el número de los que pueden aportar a este tema enseñanzas, derivadas de su propia experiencia o bien de sus conocimientos—, sobre la importancia de poner al

día tan trascendental problema. Trataremos de explicar los últimos procedimientos que nos son conocidos, para la resolución del problema; pero en su presentación no nos limitaremos a la fría exposición de unos cuantos cálculos matemáticos, sino que la ampliaremos con una serie de ejemplos prácticos en los que ciframos la claridad de las explicaciones. De sus resultados juzgará el lector, pero a él nos permitimos recordar que, si muy importante es la forma de comenzar cualquier obra, es mucho más interesante todavía la manera de acabarla, porque, como decían los romanos, "el fin corona la obra", y en este caso precisamente a él mismo le corresponde.

La necesidad del estudio del problema del bombardeo es para todos bien notoria, y no cabe relegarlo a segundos planos; recordemos que la Aviación de bombardeo encarna la potencia ofensiva del Ejército del Aire. Es, por tanto, la ejecución del bombardeo misión esencial; pero como su rendimiento depende en gran parte del *método* que empleemos, y como éstos, a su vez, tienen sus fundamentos en la teoría del tiro, llegamos ineludiblemente a la necesidad de su estudio preliminar.

Consecuentemente con lo anterior, creemos necesario exponer un resumen de las definiciones y conceptos básicos de la teoría del tiro, que aunque de todos es conocida, no será tiempo perdido el que le dediquemos, aunque no sea más que al objeto de unificar algoritmos y como preparación de un ambiente adecuado al tema en cuestión.

## Volviendo la vista atrás.

## Generalidades.

Si todas las bombas que desde un mismo punto, con el mismo avión y en sucesivas pasadas se lanzasen en idénticas condiciones, es indudable que todas las trayectorias se confundirían en una sola; pero en la práctica, esta identidad es inasequible; de un lanzamiento al otro hay diferencias insignificantes en la puntería, en el peso de las bombas, grado de humedad y de temperatura del aire, etc.; es decir, una serie de causas de errores instrumentales, balísticos y personales que dan por resultado que, en vez de una trayectoria única, se obtenga un *haz de trayectorias*; o lo que es lo mismo, que en lugar de conseguir un solo impacto se tengan varios, dentro de una extensión mayor o menor, según el grado de influencia de dichas causas de error. Se obtiene así, sobre el terreno, una *rosa de impactos*, que es como se denomina al conjunto de los mismos.

Esa distribución metódica, ordenada, de los impactos, se verifica siempre alrededor del punto medio de la sección del haz, y esta es la causa de que a este último punto se le llame *centro de impactos*. Esta regularidad de distribución de los impactos es tanto mayor cuanto más elevado sea el número de los mismos.

Refiriéndonos al bombardeo, si hacemos abstracción de los errores que procedan de la falta de aptitud o descuido del observador, los demás se pueden clasificar así:

*Errores constantes o sistemáticos*, que son los debidos a causas *permanentes*, tales como: defectuosa colocación del visor, un defecto visual del observador, etcétera. Estos se producen siempre del mismo modo en todas las experiencias. En realidad, estas causas de error pueden ser eliminadas por regla general, y debe ser constante preocupación de todo jefe de unidad su eliminación.

*Errores accidentales*, cuyas causas son variables en sentido y magnitud, y que, por tanto, se producen indiferentemente en uno u otro sentido. Estas no pueden ser suprimidas, pero sí está a nuestro alcance el compensarlas con el empleo del procedimiento de bombardeo más adecuado a cada caso o misión.

El carácter esencial de los segundos permite suponer que en un número infinito de experiencias se establecería la compensación, y se admite que si este número—sin llegar a la imposibilidad del infinito—es muy grande, se realiza tal compensación; en este caso, en la *media* de los resultados obtenidos, habrán desaparecido los errores accidentales, quedando solamente el error constante, que por afectar a los accidentales por igual, deberá encontrarse también en su media.

La *compensación de errores* es el principio funda-

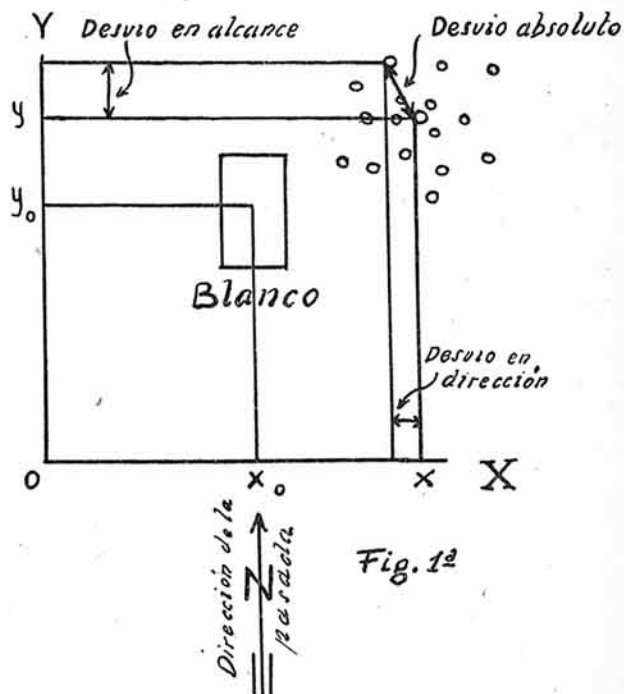
mental de la teoría de los errores, es un postulado que se admite como razonable y que la experiencia siempre pone de manifiesto su veracidad.

Cuando se lleva a efecto un bombardeo, con un número muy grande de bombas (en otras tantas pasadas o asaltos), y en el mismo no ha influido ninguna causa de error constante, es indudable que, según el principio que acabamos de citar, los errores accidentales tenderán a compensarse y, por tanto, quedarán distribuidos *simétricamente* alrededor del centro de impactos. Como no existe error constante, indudablemente el centro anterior coincidirá con el del blanco. En este caso se dice que el *bombardeo está centrado*.

Siempre que exista causa de error sistemático, entonces los dos centros citados anteriormente no coincidirán, quedando el de impactos desviado con arreglo al sentido de influencia del error constante. En este caso el bombardeo se dice *no centrado*.

## Determinación analítica del centro de impactos.

Para determinar la posición del centro de impactos analíticamente, basta trazar en el plano de la rosa dos ejes coordenados (que pueden ser dos cualesquiera, pero es conveniente que uno esté orientado en la dirección de las pasadas), referir a ellos todos los impactos y tomar la media aritmética de sus ordenadas y de las abscisas; el punto correspondiente, es decir, el que tenga por coordenadas las medias halladas, será el



centro de impactos. Designando por  $x$  e  $y$  las coordenadas de los impactos, y por  $n$  el número de ellos, tendríamos:

$$X = \frac{\sum x}{n}, \quad Y = \frac{\sum y}{n}.$$

Si se tratase de un bombardeo no centrado, tal como se indica en la figura 1.<sup>a</sup>, entonces  $X - X_0$  e  $Y - Y_0$  serían las coordenadas del centro de impactos con respecto al centro del blanco, y serían al mismo tiempo las del error sistemático.

La trayectoria que pasase por el centro de impactos, que se denomina *trayectoria media*, es la que seguirían todas las bombas si no existiesen las causas de la dispersión; pero como éstas siempre existen, resulta que constantemente tendremos trayectorias "desviadas" de su verdadera posición.

#### Clase de desvíos.

Se establecen o se consideran para los cálculos diversas clases de desvíos, de los que definiremos solamente aquellos que interesan a nuestro estudio (figura 1.<sup>a</sup>).

*Desvío absoluto* ( $d_a$ ) es la distancia que separa un impacto del centro de los mismos.

*Desvío en alcance* ( $d_y$ ) es la proyección del anterior sobre el eje de las  $Y$ .

*Desvío en dirección* ( $d_x$ ) es la proyección del absoluto sobre el eje de las  $X$ .

*Desvío absoluto medio o promedio* ( $d_{am}$ ) es la media aritmética de los valores absolutos de los desvíos.

*Desvío en alcance medio* ( $d_{ym}$ ) es la media aritmética de los desvíos en alcance.

*Desvío en dirección medio* ( $d_{xm}$ ) es la media de los desvíos en dirección.

La representación analítica de los tres últimos sería:

$$d_{am} = \frac{\sum d_a}{n}, \quad d_{ym} = \frac{\sum d_y}{n}, \quad d_{xm} = \frac{\sum d_x}{n}.$$

Para hallar  $d_{ym}$  o  $d_{xm}$  se tomarán solamente la mitad de los impactos, es decir, los largos o los cortos para el primero, y los de la derecha o izquierda para los segundos. Si se desearan tomar todos, entonces habría que prescindir del signo.

*Desvío probable en alcance o en dirección* ( $r_y$  ó  $r_x$ )

son aquellos para los cuales existe la misma probabilidad (1) de cometer otro mayor o menor que ellos.

*Desvío probable circular* o radio del círculo del 50 por 100 ( $R_{50}$ ) es aquel (con el cual haciendo centro en el de impactos) capaz de engendrar un círculo que contenga la mitad mejor de los impactos.

*Desvío máximo* ( $d_m$ ) es el que tiene una magnitud tal que no puede ser excedida por la de ningún otro impacto, con tal de que corresponda a un lanzamiento llevado a cabo en condiciones normales.

#### Relaciones entre los desvíos.

El cálculo de probabilidades establece una serie de relaciones entre las distintas clases de errores—en nuestro caso desvíos—que son de gran utilidad. Las más útiles a nuestros fines son las siguientes:

$$\begin{aligned} r_y &= 0,845 d_{ym} \text{ (I)}, & r_x &= 0,845 d_{xm} \text{ (II)}, \\ d_m &= 4,17 r_x \text{ ó } r_y \text{ (III)}, & R_{50} &= 0,939 d_{am} \text{ (IV)}, \\ R_{50} &= 1,745 r_x \cdot r_y \text{ (V)}, & R_{50} &= 1,475 d_{ym} \cdot d_{xm} \text{ (VI)}. \end{aligned}$$

La fórmula (III) nos indica que ningún impacto—a consecuencia de un lanzamiento normal—puede dar un desvío superior a 4,17 veces el valor del desvío probable.

La fórmula (V) solamente puede utilizarse cuando los valores de  $r_y$  y  $r_x$  son aproximadamente iguales.

Siempre que tengamos una rosa de impactos, nos será muy fácil el determinar analíticamente los valores de los desvíos probables, pues nos bastaría aplicar las anteriores fórmulas. Pero es preciso hacer observar que, para que dichos valores fueran de utilidad, es necesario que la rosa esté formada por un número muy elevado de impactos, correspondiendo todos a lanzamientos llevados a efecto con los mismos elementos y en idénticas condiciones. Conocido ya el procedimiento analítico, pasemos a explicar otro geométrico.

#### Procedimiento geométrico para determinar el centro de impactos y los desvíos probables.

Se obtiene geoméricamente el centro de impactos trazando dos rectas, una en el sentido de la de las pasadas y otra ortogonalmente a la anterior (fig. 2.<sup>a</sup>),

(1) Se entiende por *probabilidad* de un suceso la relación que existe entre el número de casos favorables que pueden aparecer y el número de los posibles. Así, cuando lanzamos un dado, si deseamos saber la probabilidad que tenemos de sacar un número par, vendrá expresado por  $3/6 = 1/2 = 0,5 = 50$  por 100, ya que tres son los casos favorables (el de un 2, un 4 y un 6), y posibles son cualquiera de las caras del dado, o sean seis.

de manera que cada una de ellas divida a la rosa en dos partes que contengan igual número de impactos; la intersección de ambas rectas determina el punto de choque de la trayectoria media, o sea el centro de impactos.

Para determinar los desvíos probables, por ejemplo, el de alcance, bastará hallar por el procedimiento anterior el centro de impactos y trazar una recta tal como la AA', paralela al eje XX', a una distancia O<sub>a</sub>, de modo que comprendan entre ambas el 25 por 100 de los impactos. Si trazamos otra recta, tal como la BB' en análogas condiciones a la anterior, resultará que entre la AA' y la BB' quedará comprendido el 50 por 100 de los impactos, y, por tanto, la magnitud O<sub>a</sub> nos representará el *desvío probable en alcance*, ya que un nuevo impacto tendrá tantas probabilidades de producirse fuera de la zona AA' BB' como dentro de ella, o lo que es lo mismo, de cometer un desvío mayor o menor que O<sub>a</sub>.

*Valores de las zonas.*

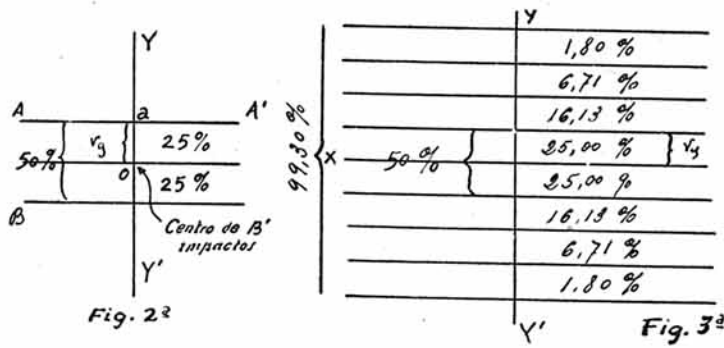
Como acabamos de ver, existe una zona de extraordinaria importancia, y es la AA' BB', que se denomina del 50 por 100. Su anchura viene dada, como se deduce de la construcción, por el doble del desvío probable.

Pero no es esta la única zona que debemos considerar, pues fácilmente podemos comprobar en una rosa, formada por un número muy elevado de impactos, que si trazamos a cada lado de los dos ejes otras tres paralelas a distancias doble; triple y cuádruple del valor del desvío probable, nos resultan comprendidos dentro de cada zona (fig. 3.<sup>a</sup>) el número de impactos que se indican en la figura. Con tanta más exactitud llegaremos a estos resultados cuanto mayor sea el número de impactos a considerar.

*Variación de la dispersión con la altura.*

La altura es el factor más influyente en la dispersión. A medida que crece la altura de bombardeo aumenta la dispersión; pero este crecimiento no es proporcional, es decir, que a doble altura un bombardeo no es la mitad de preciso.

Verdaderamente, por lo menos que nosotros sepamos, hasta el momento no se ha conseguido ninguna ley teórica que esté acorde con los resultados obtenidos en la práctica. Según Rougeron, en su tratado de bombardeo, él admite una ley de variación proporcional a la raíz cuadrada de la altura en lo que respecta a la dirección, y una ley de variación un poco menos rápida en lo referente al alcance; pero estas relaciones



no resultan verdaderas para las velocidades de hoy en día. Según esta teoría, si admitimos un desvío probable en dirección de 60 metros para un avión a 180 kilómetros-hora y a 2.000 metros de altura, se convertiría en 190 metros de desvío probable en dirección para un avión de 360 kilómetros-hora a 5.000 metros de altura. Para igual desvío en alcance se transformaría a la última velocidad en 300 metros. Pues bien, estos resultados dejan mucho de parecerse a los experimentales, ya que éstos acusan un aumento de los desvíos probables en dirección sobre los de alcance por encima de los 1.000 metros de altura (según hace ver una tabla de desvíos norteamericana). Es digno de hacer constar el loable hecho de que la Escuela de los Alcázares obtuviese resultados muy parecidos antes del año 36, como deducciones conseguidas por comparación entre rosas de impactos de varios cursos de bombardeo.

No siendo posible obtener ninguna fórmula teórica adecuada, se ha acudido a las empíricas, que ya proporcionan mayores aproximaciones, pero no la suficiente.

*Influencia de la velocidad.*

La velocidad influye sobre todas las demás causas de error. Los resultados experimentales parecen indicar que los desvíos en alcance crecen un poco más rápidamente que la velocidad. Así, los que exponemos en el cuadro adjunto, tomados del tratado de Rougeron, nos demuestran que los desvíos probables son mayores que el doble al duplicarse la velocidad.

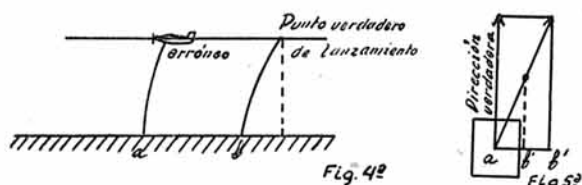
ALTURA	Velocidad	
	180 kms/h.	360 kms/h.
1.500 metros.	53 metros.	121 metros.
3.000 >	103 >	229 >
5.000 >	163 >	342 >

Vemos también cómo los desvíos en alcance tienen un crecimiento un poco menos rápido que el de la altura.

ra. (A estos datos no deben dársele otra aplicación que el de los fines comparativos.)

Se comprende fácilmente, cuando se comete algún error de retraso o adelanto, con respecto al momento verdadero de lanzamiento de la bomba, que la velocidad aumente el desvío (fig. 4.<sup>a</sup>). La distancia  $ab$  será proporcional a la  $V_s$  del avión para cada altura de lanzamiento.

Si cometemos algún error en la dirección de la pasada o asalto (1), la velocidad también influye en la magnitud del desvío en dirección. Se deduce por la simple inspección de la figura 5. (Esta consideración es más bien de carácter relativo, puesto que, en realidad, el error es sólo en alcance, ya que para que podamos considerarlo en dirección tenemos que referirlo a la dirección verdadera de asalto.) Si  $ab$  fuese el error correspondiente a un avión de velocidad  $V_s$ ,  $ab'$  sería debido a una velocidad  $v_s$  doble de la anterior.



Medida de la precisión de un bombardeo.

Como término de comparación para la medida de la precisión de los bombardeos se toman los valores de los desvíos probables, tanto en alcance como en dirección, e incluso el circular. Estos valores se pueden hallar fácilmente mediante las fórmulas dadas en función de los desvíos medios. Pero para que los valores hallados sean verdaderamente útiles, en la práctica deben reunir dos condiciones, a saber:

- Ser consecuencia de un gran número de experiencias y llevadas a efecto dentro de condiciones lo más parecidas en lo posible a las reales o de guerra.
- Estar calculados por las mismas unidades que los han de emplear.

Los datos que puedan proporcionarnos las Escuelas de Tiro no pueden servir más que como una orientación.

(1) En los reglamentos norteamericanos se emplea la palabra "asalto", refiriéndose a la modalidad de bombardeo, para la fase verdaderamente efectiva de la acción, es decir, desde que el observador colima al objetivo hasta que se han lanzado todas las bombas. Es, por tanto, una palabra sinónima del significado que nosotros queremos dar a la de "pasada".

Adjuntamos a continuación una tabla de desvíos probables, de procedencia norteamericana, pero a cuyos valores no se les debe dar mayor alcance que la de su utilización a los fines didácticos, ya que aquéllos no representan resultados reales de la dispersión en la actualidad, aunque es probable se aproximen mucho. Nos inclinamos a suponer que con los últimos modelos de visores empleados por la aviación yanqui, la precisión conseguida es mayor, ya que así nos lo confirman los éxitos que obtuvieron en las últimas operaciones aun cuando se tratase de objetivos muy precisos, como son los navales.

Alturas	$r_y$	$r_x$	$R_{30}$
300	14	11	22
600	14	13	24
900	15	15	26
1.200	15	18	29
1.500	16	20	32
1.800	17	23	35
2.100	18	25	39
2.400	20	28	43
2.700	22	30	48
3.000	24	33	53
3.400	27	36	58
3.700	29	40	63
4.000	33	43	69
4.300	36	47	75
4.600	40	51	81
4.900	43	55	87
5.200	47	60	95
5.500	52	66	102
5.800	57	71	110
6.100	61	76	119

Esta tabla es la que utilizaremos en lo sucesivo, suponiendo que es el resultado de las experiencias llevadas a cabo por una unidad hipotética de bombardeo, a la que le encomendaremos la ejecución de múltiples y variadas misiones.

Con esto podemos dar por terminado el rápido repaso de la teoría del tiro en general, que si bien es cierto que para muchos no decimos nada nuevo hasta aquí, no es menos indudable que será de gran utilidad para aquellos cuya afición o destino les ha obligado a permanecer al margen de esta teoría. Sin este resumen se verían obligados a entresacar estas elementalidades, con la consiguiente pérdida de tiempo. Si esto último lo hemos logrado evitar, ¡podemos dar por bien empleadas estas líneas! ¡No en balde se ha evaluado el tiempo como elemento capital de la humana actividad!

No queremos cerrar este artículo sin hacer constar la gran ayuda que con su labor recopiladora y el

iniciarnos a estas teorías, nos ha prestado el Teniente Coronel Alvarez Pardo, sin la cual estos artículos no tendrían razón de existencia.

(El próximo artículo tratará del cálculo de la probabilidad de alcanzar un blanco con un impacto.)

EJERCICIO A RESOLVER.

*Problema número 1.*— Un avión ha lanzado diez bombas (en otras tantas pasadas) sobre un blanco, y referidos los impactos a dos ejes coordenados ortogonales, cuyo origen es el centro de aquél, arrojaron los datos que se indican a continuación:

Número del impacto	Ordenada	Abscisa
1	20 m.	30 m.
2	12 "	15 "
3	8 "	10 "
4	13 "	10 "
5	16 "	20 "
6	6 "	6 "
7	10 "	8 "
8	6 "	14 "
9	17 "	12 "
10	4 "	6 "

(El eje de las Y estaba orientado en el sentido de las pasadas, que siempre fué exactamente la de Sur-Norte.)

Calcular analíticamente:

- 1.º Las coordenadas del centro de impactos, con respecto a los ejes dados.
- 2.º Indicar si existe error sistemático.
- 3.º Suponiendo que de haber error constante, su causa fuese el viento, ¿cuál sería, aproximadamente, su dirección?
- 4.º Calcular el valor del *desvío en alcance medio*,

tomando para esto en consideración solamente los impactos largos con respecto a un eje imaginario que pasase por el centro de impactos y paralelo al de las X.

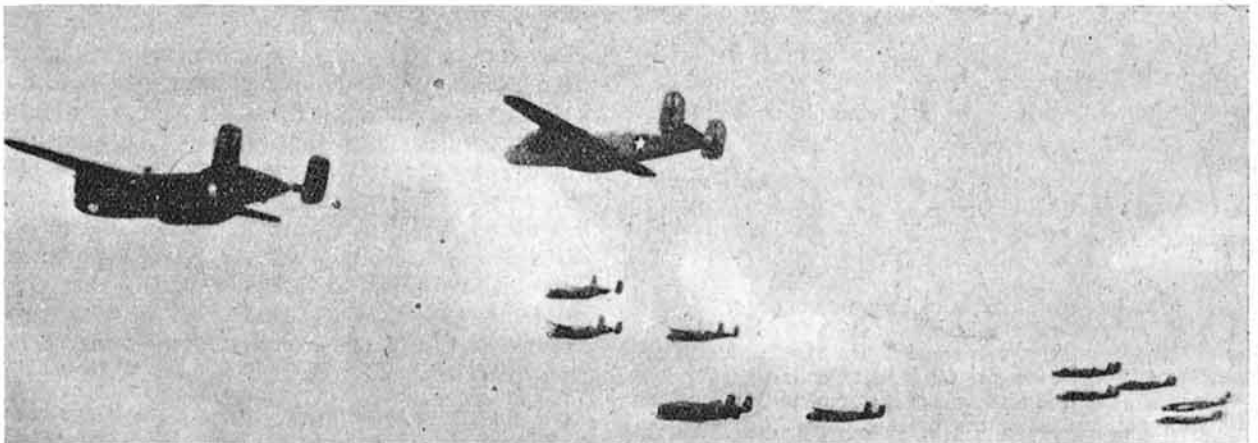
- 5.º Si para el cálculo anterior hubiésemos tenido en cuenta la totalidad de los impactos y referidos al eje de las X, ¿qué valor nos daría para el desvío en alcance medio? Y si tomamos solamente los largos, pero si después los referimos al eje de las X, ¿en qué valor vendría incrementado el hallado en el apartado 4.º?
- 6.º Los desvíos absolutos fueron calculados y arrojaron los siguientes resultados:

Número del impacto	Desvío absoluto
1	19 m.
2	2 "
3	4,3 "
4	3,5 "
5	8,4 "
6	8,7 "
7	5,2 "
8	5,2 "
9	?
10	?

Calcular los correspondientes a los impactos noveno y décimo.

- 7.º ¿Cuál sería el desvío absoluto medio?
- 8.º ¿Qué valor tendría el desvío probable en alcance?
- 9.º Si suponemos que los resultados obtenidos fuesen consecuencia de un número de lanzamientos muy elevado y que no exista viento, al efectuar un nuevo lanzamiento, ¿cuál es la distancia máxima en alcance a que podría caer una bomba en condiciones normales?

*Nota.*—Las soluciones se indicarán en el próximo artículo.



Bombarderos de las Fuerzas Aéreas del Ejército americano en el norte de Africa volando en formación para castigar al Ejército en retirada de Rommel. La aviación jugó papel decisivo en la expulsión de las tropas del Eje del norte de Africa.