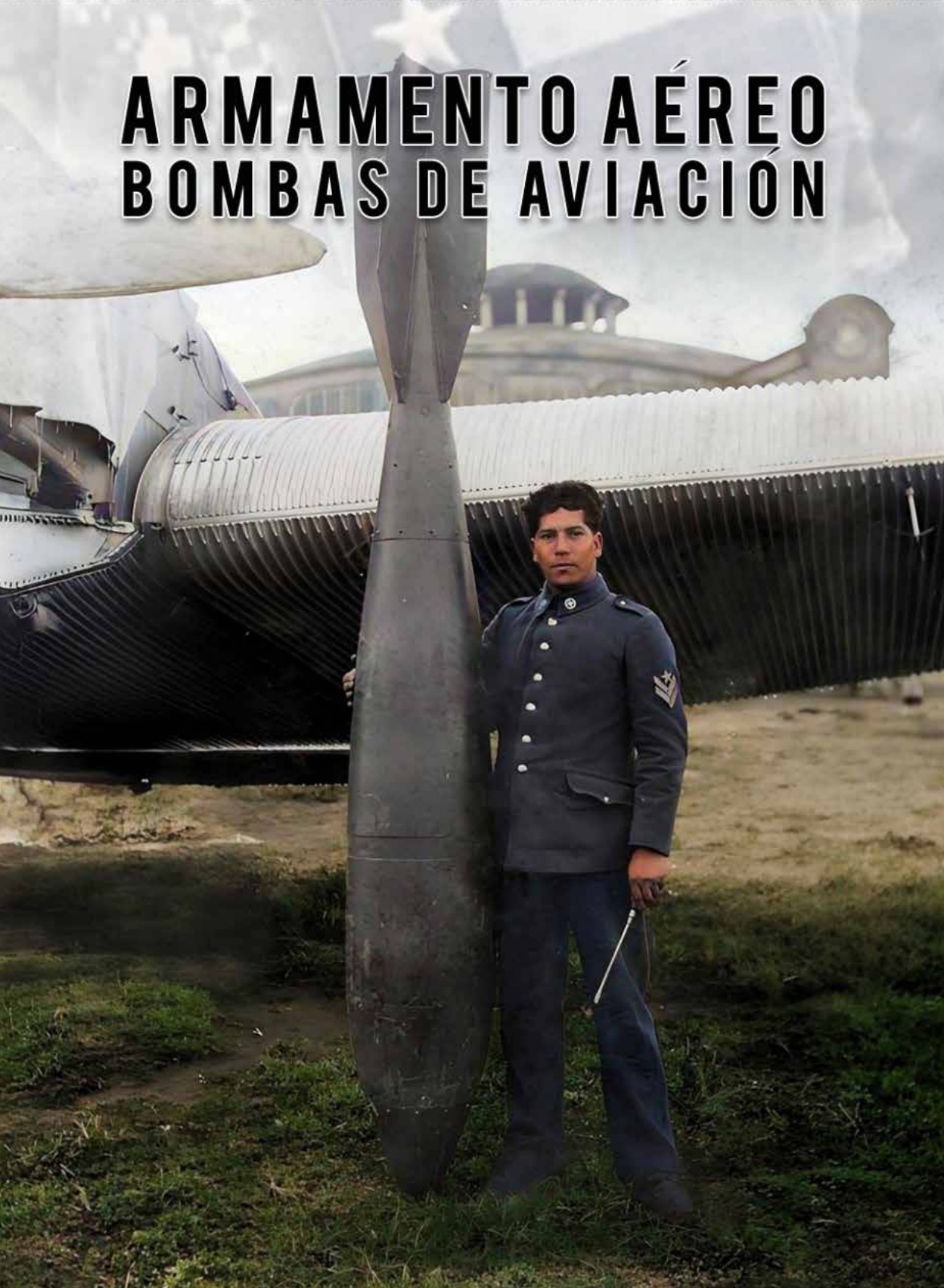


ARMAMENTO AÉREO BOMBAS DE AVIACIÓN



NELSON BRAVO GASPARRI
CORONEL DE AVIACIÓN



El Coronel de Aviación (R) Nelson Bravo Gasparri, nació en Santiago el 05 de febrero de 1964, sus estudios de enseñanza básica y media los realizó en el Instituto Sagrado Corazón de San Bernardo. Con 18 años en 1982 ingresa a la institución, recibiendo su nombramiento de Alférez el 01 de enero de 1985, luego en 1987 recibe el título profesional de Técnico en Mantenimiento de Aeronaves. Posteriormente, luego de cursar cinco años en la Academia Politécnica Militar del Ejército, recibe en 1994 el título de Ingeniero Politécnico Militar mención Armamento.

A partir del año 1995 y hasta el 2007, se desempeña en la Subdivisión de Armamento del Comando Logístico, en donde le corresponde liderar proyectos tales como: extensión de vida útil de los misiles Python III y Mistral, municiones aéreas y antiaéreas, participación en el proceso de adquisición de misiles Python IV, kits de guiado láserico para bombas de aviación, municiones y bombas de aviación. Durante ese periodo realiza los cursos de Informaciones (1998) y Asesor de Estado Mayor (2003), asimismo, obtiene el Diploma y el Magister en Gestión de Calidad, en 1997 y el 2003 respectivamente, en la Universidad de la Frontera.

Entre los años 2007 y 2015 se desempeña en la División de Educación, etapa ende su carrera en la cual obtiene el Título de Profesor Militar de Academia, en la Academia Politécnica Aeronáutica, año 2009. A partir de ese año y hasta hoy, aporta a las nuevas generaciones de Oficiales y Personal del Cuadro Permanente como profesor de aquellas asignaturas relacionadas con el ámbito de armamento, tanto en la Escuela de Aviación como en la Academia Politécnica Aeronáutica y en la Escuela de Especialidades.

Durante el año 2019, escribe y publica el libro titulado "Armamento Aéreo", que se orienta a la formación profesional de Cadetes y Alumnos de las escuelas matrices de la Fuerza Aérea, en el área del armamento aéreo.

Entre los años 2016 y 2020 se desempeña como Director dela Escuela de Perfeccionamiento de Suboficiales "SOM Oscar Ossa Galdames" y Comandante de la Guarnición Aérea el Bosque.

Se acoge a retiro el año 2020, luego de 39 años de servicio.

En el año 2022 retoma a la Institución para desempeñarse como Analista Técnico en Armamento en el Comando Logístico. A la fecha de la elaboración de este libro, participa entre otras actividades, en la certificación de una bomba de práctica de fabricación nacional y en procesos de extensión de vida útil tanto de misiles como de municiones utilizadas por la Institución.

ARMAMENTO AÉREO BOMBAS DE AVIACIÓN

Nelson Bravo Gasparri
Coronel de Aviación

*Inscripción en el Departamento de Derechos Intelectuales N° 2026-A-1543 a
nombre de Nelson Bravo Gasparri*

ISBN: 978-956-425-268-1

Mail autor: bravo05021964@gmail.com

Diseño de portada

Sr. Raúl Avezón Cifuentes

Ilustraciones

Sra. Patricia Concha Jara

Diagramación

Elizabeth Zárate Arancibia

Edición de 20 ejemplares

Marzo de 2026

*A mi esposa Marcela, todo el amor y
gratitud por su apoyo y complicidad
incondicional en todos mis proyectos.*

AGRADECIMIENTOS

El anhelo de escribir un nuevo libro constituyó un importante desafío que sólo ha sido posible concretar gracias a personas que generosa y desinteresadamente enriquecieron las líneas de este texto con las experiencias y conocimientos técnicos obtenidos a través de los años, dedicando un importante tiempo de sus vidas al desarrollo de investigaciones y prácticas en un área tan específica como resulta ser el tema de las bombas de aviación.

Aprovecho estas líneas para agradecer a las personas que aportaron para publicar este libro, en ese sentido, es necesario reconocer y agradecer su significativo aporte para hacer posible la publicación de este libro:

Con especial estima y respeto a los integrantes de la Armada de Chile, Capitán de Corbeta Hugo Fuentealba Quiroz y la Empleada Civil María Angélica Muñoz Morales, ambos pertenecientes al Arsenal Naval de Talcahuano.

A la Sra Patricia Concha Jara por su valioso aporte en el desarrollo de las ilustraciones de esta obra.

Al Sr. Raúl Avezón Cifuentes por su importante aporte en el diseño de la portada de este libro.

Con especial aprecio a la Profesora Sra. Marion Zúñiga Tobar, quien apoyó al autor en forma leal y desinteresada en la revisión y corrección del texto, para desarrollar esta obra en beneficio de la formación profesional de Cadetes y Alumnos de las Escuelas Matrices de la Fuerza Aérea de Chile y a quienes deseen conocer e iniciar el estudio de este tema.

A todos ellos, mí sentida gratitud.

PRÓLOGO

La presente publicación, cuyo título constituye el tema que se desarrolla a lo largo del texto, pretende entregar los conocimientos básicos que iniciarán al lector en el quehacer de los profesionales y técnicos del arma aérea. Así, tanto cadetes de la Escuela de Aviación como alumnos de la Escuela de Especialidades podrán adquirir un conocimiento inicial al respecto, el que se complementaría en su formación profesional como futuros oficiales y suboficiales de la Fuerza Aérea de Chile, sumándose todos aquellos interesados que busquen información técnica de este tipo de armamento aéreo.

Es necesario señalar que esta obra es una recopilación que integra, en términos sencillos, variados conceptos vertidos en diferente literatura, la cual es limitada y escasa, sobre todo en idioma español, a objeto de comprender este tipo de armamento en particular que puede portar una aeronave, indicando su definición, funcionamiento, componentes principales, clasificaciones de éstos y características propias de las bombas de aviación, acompañadas de una explicación de las materias energéticas que permiten, en este caso, producir la destrucción en el blanco que es batido.

La propuesta de este trabajo, es entregar una publicación de carácter didáctico, complementada con imágenes de variadas figuras, fotografías recopiladas a través de los años y esquemas explicativos, todo lo cual permite al lector la comprensión e integración de la terminología técnica al bagaje personal de quien consulta estas líneas.

El Autor

Santiago, Noviembre de 2025

ÍNDICE

	PÁGINA
1. DESARROLLO HISTÓRICO	1
1.1. ORÍGENES	1
1.2. PRIMERA GUERRA MUNDIAL (1914 – 1918)	4
1.3. PERÍODO ENTRE GUERRAS	7
1.4. SEGUNDA GUERRA MUNDIAL (1939 – 1945)	7
1.5. GUERRA DE COREA (1950 – 1953)	15
1.6. GUERRA DE VIETNAM (1955 – 1975)	15
1.7. ÚLTIMOS 40 AÑOS	20
1.8. FUTURO	25
2. CUERPO DE LA BOMBA DE AVIACIÓN	27
2.1. ANTECEDENTES	27
2.2. CUERPO DE LA BOMBA DE AVIACIÓN	29
3. QUÍMICA DE EXPLOSIVOS Y EFECTOS	31
3.1. INTRODUCCIÓN	31
3.2. CLASIFICACIÓN DE LOS EXPLOSIVOS	32
3.3. EXPLOSIVOS QUÍMICOS	33
3.4. FENÓMENOS DE COMBUSTIÓN, DEFLAGRACIÓN Y DETONACIÓN.	34
3.5. PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS	34
3.6. VIDA ÚTIL DE MATERIALES ENERGÉTICOS	39
3.7. EFECTOS DE LAS BOMBAS DE AVIACIÓN	40
4. ESPOLETAS	47
4.1. TREN EXPLOSIVO	47
4.2. DESCRIPCIÓN DE LA ESPOLETA	49
4.3. UBICACIÓN DE LAS ESPOLETAS	50
4.4. MÉTODOS DE ARMADO	51
4.5. MÉTODOS DE FUNCIONAMIENTO	53
5. ESTABILIZADORES	57
5.1. DESCRIPCIÓN GENERAL	57
5.2. ESTABILIZADORES CON ALETAS FIJAS	57
5.3. ESTABILIZADORES CON PARTES MÓVILES	58
5.4. ALAS DESPLEGABLES	60

ÍNDICE

6. GANCHOS DE SUSPENSIÓN	63
7. OTROS COMPONENTES	67
7.1. ALAMBRE DE ARMAR	67
7.2. CLIP DE SEGURIDAD	68
7.3. SWIVEL AND LINK (Destorcedor)	68
7.4. VELETA	69
7.5. BOOSTER	70
7.6. DELAY	72
7.7. FERRULE	72
7.8. GOVERNED COUPLER (Copla)	72
7.9. EJE FLEXIBLE	74
7.10. CHAVETA (Cotter Pin)	74
8. TIPOS DE BOMBAS DE AVIACIÓN EN USO	77
8.1. DE ACUERDO A LA FUNCIÓN QUE CUMPLEN	77
8.2. GUIADO UTILIZADO EN LAS BOMBAS DE AVIACIÓN	82
REFLEXIONES FINALES	99
BIBLIOGRAFÍA	101
LISTA DE IMÁGENES E ILUSTRACIONES	103
GLOSARIO	109
EVENTOS HISTÓRICOS	113



1. DESARROLLO HISTÓRICO

En este primer capítulo se aborda el origen de los bombardeos desde el aire y cómo surgen las “bombas de aviación” e iniciar su desarrollo hasta hoy, propiciando un diseño siempre enfocado a potenciar la capacidad de destrucción del blanco a batir, la precisión y seguridad de su uso.

1.1. ORÍGENES

A saber, la guerra ítalo turca se libró principalmente en el territorio de Libia otomana, al norte de África, y es en esos cielos que el 1º de noviembre de 1911 un aeroplano, en un vuelo de prueba, mostró su enorme potencial como arma bélica.

En efecto, ese día el Teniente del ejército italiano, Giulio Gavotti, Figura N°1.1, a bordo de un monoplano Taube, realizó la primera acción bélica de bombardeo de la historia.

El piloto Gavotti con suma destreza lanzó, en pleno vuelo, cuatro bombas, una sobre el oasis de Ain Zara y tres sobre el oasis de Tajiura, luego de haberles quitado el seguro con los dientes para no abandonar los mandos de su aeroplano, lo cual revela con detalle en una carta: “... luego de un rato, logro distinguir una mancha oscura sobre el terreno. Es el Oasis de Ain Zara, con una mano sigo pilotando el avión, mientras que con la otra coloco

una de las bombas sobre mis piernas. Tomo una con mi mano derecha, quito el dispositivo de seguridad y la arrojó, evitando golpear el ala del avión. La veo caer por unos segundos. Luego de un instante veo una pequeña nube negra en medio del Campamento” ¡LE DÍ AL BLANCO!”, relato impregnado de emoción de un heroico acontecimiento de la historia de la aeronáutica italiana. Esta acción se puede apreciar en la litografía de la Figura N°1.2.



Figura N°1.1
Teniente Giulio Gavotti

La misión fue un éxito, la inesperada e inédita acción del Teniente Gavotti sorprendió a las tropas turcas, pues hasta esa fecha los pilotos italianos sólo



Figura N°1.2
Ilustración que muestra la hazaña del Teniente Gavotti

realizaban vuelos de reconocimiento del territorio.

Gavotti concretó la acción utilizando bombas creadas por el Teniente de Navío Cipelli, las que eran un poco más grandes que las granadas esféricas de un kilo y medio de peso y que fueron diseñadas para explotar al impactar en el suelo. Ver Figura N°1.3.

A su regreso a Italia Gavotti es recibido como héroe por sus camaradas italianos, siendo felicitado por su superior el General Canevá. El alboroto que provocó la noticia de su hazaña fue mucho mayor que el modesto estallido que provocaron las pequeñas bombas en territorio turco. La prensa lo aclamó en su país llamándolo el "artillero volador". Por aquellos días,

vuelo y lanzamiento de bombas simultáneamente ni siquiera era imaginable, el concepto de bombardero no estaba en el lenguaje castrense, por esto la intrépida acción de Gavotti fue reconocida por el gobierno italiano y le valió ser condecorado con la Medalla de Plata al Valor Militar, Medaglia d'Argento al Valor Militare.

Lo más probable es que el Teniente Gavotti haya causado pocas o ninguna baja entre los combatientes turcos, pero dejó de manifiesto que era posible llevar a cabo ataques desde el aire a territorio enemigo, acontecimiento que constituye una innovación en tácticas de combate desde una aeronave en vuelo.

No obstante, fue necesario introducir cambios para mejorar la estructura y funcionamiento de las aeronaves,



Figura N°1.3
Bomba de mano Cipelli



ya que los aeroplanos disponibles de finales de la primera década del siglo XX poseían una escasísima capacidad de carga, por su parte las bombas también inician una rápida evolución técnica.

Las bombas utilizadas en esos años eran las creadas por Cipelli, las que rápidamente fueron sustituidas por las bombas "Haasen" de fabricación sueca, las que fueron obtenidas por un crucero italiano que apresó un velero griego que las transportaba, las mismas que posteriormente fueron reemplazadas por las bombas "Bontempelli", provistas de una ranura helicoidal que las hacían caer verticalmente desde cualquier posición en que fueran lanzadas. Las bombas siempre fueron arrojadas con la mano o con el apoyo de sistemas muy rudimentarios, los que incluso provocaron algunos accidentes.

Pasados sólo unos meses llegó a Tripolitania (Territorio de actual Libia) el primer sistema de desenganche de bombas llamada "Cassetta Campodónico", en la que diez bombas con el dispositivo de seguridad fijo fueron instaladas en el avión dentro de un recipiente, el cual a través de la activación de una palanca que manipulaba el observador que viaja junto al piloto, abría completamente la caja que contenía las bombas y dicha apertura producía el armado de éstas antes de que se precipitaran desde el aire hasta sus blancos.

Un año más tarde, en 1912 los franceses André y Edouard Michelin organizaron el Aéroclub, un concurso en el que se

trataba de lanzar desde doscientos metros de altitud bombas de siete kilos sobre blancos de veinte metros de diámetro. Aquel mismo año durante la conquista italiana de Tripolitania, se lanzaban desde un aeroplano latas de nitroglicerina.

Aprovechando esta situación, los ejércitos de los cuatro reinos balcánicos limítrofes con las posesiones turcas en Europa, es decir Montenegro, Grecia, Serbia y Bulgaria, atravesaron las fronteras de Turquía penetrando profundamente en el territorio de ese imperio. Estas operaciones iniciadas por el reino de Montenegro y continuadas ampliamente por Bulgaria (que se apropió de Adrianópolis) tomaron el nombre de Primera Guerra Balcánica, las que se prolongaron durante todo el otoño de 1912 y los meses del invierno que siguieron hasta comienzos de 1913. Poco después debido a celos y odios provocados por el reparto de territorios conquistados a los turcos, Grecia y Serbia, unidas a Rumania se enfrentaron con los búlgaros. Las operaciones militares, breves pero cruentas, se desarrollaron durante el verano de 1913 y tomaron el nombre de Segunda Guerra Balcánica. Las tropas de infantería de todos los beligerantes fueron apoyadas por la aviación, con la única excepción del pequeño reino de Montenegro.

El empleo del aeroplano en las guerras balcánicas, tuvo dos importantes consecuencias: la primera sin duda fue la resonancia que tuvo el primer "bombardeo"



aéreo en Libia, especialmente por las discusiones que despertaron en todos los círculos militares del mundo acerca de los verdaderos méritos del arma aérea, lo cual se definiría durante la Primera Guerra Mundial; la segunda consecuencia (más sutil y en apariencia menos visible pero sustancialmente mucho mejor pensada), fue la penetración político-comercial de Francia en el escenario europeo, convirtiéndose en el proveedor de aeroplanos a todas las partes beligerantes.

1.2. PRIMERA GUERRA MUNDIAL (1914 – 1918)

Cabe señalar, que en las primeras batallas de la Gran Guerra, denominación dada a la Primera Guerra Mundial acaecida entre 1914 y 1918, el poder aéreo tuvo poco impacto, primero por la escasez tanto de aviones como de la organización e industria requeridas por las fuerzas involucradas en el conflicto, y segundo, por la debilidad y poca capacidad de los aviones existentes. Ambas circunstancias iniciales cambiarían radicalmente antes de finalizar esta guerra.

En el transcurso de esta contienda bélica, se desarrollaron operaciones de reconocimiento, bombardeos, caza y ataque terrestre. El bombardeo evolucionó desde el lanzamiento de pequeñas bombas desde aviones de reconocimiento, hacia el desarrollo del bombardeo de larga distancia con las primeras miras para efectuarlas y las

bombas incendiarias o fragmentarias de hasta una tonelada de peso.

Una vez iniciada la Primera Guerra Mundial, las fuerzas de ambos bandos iniciaron el uso del aeroplano desarrollando principalmente misiones de observación de las fuerzas enemigas y tímidamente comenzar con bombardeos desde aviones y dirigibles a fuerzas terrestres y ciudades del bando opuesto. Así, el 3 de agosto de 1914, a sólo cinco horas de iniciado el estado de guerra entre Alemania y Francia, el aeroplano alemán "Taube" lanzó tres bombas sobre la ciudad de Luneville en Francia. En aquellos días además, se lanzaban dardos de acero sobre las personas desde las incipientes aeronaves bombarderas aunque sin resultados exitosos.

Notable fue el bombardeo efectuado el 30 de agosto de 1914, cuando un solitario avión alemán "Taube" sobrevoló París, siendo piloteado por el Teniente Von Hiddessen, a quien se aprecia en la Figura N°1.4.

Una de las principales tareas del piloto fue lanzar sobre la capital francesa panfletos con una lacónica leyenda: "El ejército alemán está a las puertas de la ciudad, no les queda otra salida que rendirse, Teniente Von Hiddessen", además del lanzamiento de cuatro pequeñas bombas que resultaron ser intimidantes para los parisinos.

De esa forma, mientras los panfletos llovían en las calles y plazas de París, el piloto alemán iniciaba la segunda parte de la misión dejando caer algunas



bombas sobre la ciudad. Estas bombas, que en definitiva, causaron daños muy relativos (pesaban sólo tres kilos), obtuvieron un efecto psicológico imprevisto, ya que convencieron definitivamente al gobierno francés de la urgente necesidad de abandonar la capital francesa para trasladarse a Burdeos.



Figura N°1.4
El Teniente Von Hiddessen y su avión Taube

Asimismo, el incremento de bombardeos provocó en el gobierno francés primeramente, luego en Alemania, Italia y Gran Bretaña, comprender que la guerra sería dura y se libraría por tierra, mar y aire, y además se combatiría en las retaguardias, donde la capacidad industrial para fabricar armas, municiones y materiales sería la que en definitiva, definiría la guerra. Fue de esta forma que Francia reorganiza su aviación, creando la primera unidad de bombardeo que buscó coordinar las tripulaciones que deberían volar para atacar en formación, lo cual traía consigo la concentración del armamento que se lanzaba sobre el blanco y la protección mutua con el armamento defensivo, sumando a esto el adiestramiento técnico del personal; por último, construir bombas de mayor potencia y sistemas con mecanismos de lanzamiento más eficientes.

La primera acción de una formación de aviones lanzando bombas fue llevada a cabo con éxito por los franceses, cuyo blanco fue la fábrica de explosivos de Ludwigshafen en Alemania, el 27 de

mayo de 1915. Importante es precisar, que las primeras bombas de mayor peso hasta ese momento correspondían a proyectiles de artillería, provistos de empenaje, sin tener las bombas una potencia y diseño especialmente creados para ser lanzados desde aviones.

Lo descrito anteriormente fue mejorado por los países en conflicto, creando unidades dedicadas específicamente al bombardeo desde el aire, aviones bimotores, trimotores y cuadrimotores de mayor potencia, capacidad de carga y alcance, los cuales permitieron que estas acciones se fueran multiplicando durante los enfrentamientos. Por otra parte, se comenzarían a fabricar bombas específicas de mayores dimensiones y peso, y por ende, de mayor potencia destructiva sobre los objetivos, lo que predominó hasta el término de la Primera Guerra Mundial.

Mientras la contienda devastaba los campos europeos, al otro lado del Océano Atlántico, Estados Unidos



hacia 1915 permanecía neutral, consciente de su escasa preparación para una posible participación en esta guerra, el gobierno norteamericano, a través de la Secretaría de la Marina, creó una junta compuesta por científicos, particularmente ingenieros, para buscar una mejora sustancial en la precisión observada en los bombardeos ocurridos durante la primera mitad del conflicto que se desarrollaba en Europa.

Transcurridos algunos años, en 1918 la Marina voló exitosamente un prototipo de bomba que llamaron "Torpedo Aéreo" o "Bomba Voladora", considerada un precursor del misil crucero, que consistió en un avión especialmente construido con controles giroscópicos automáticos, el que fue lanzado desde un automóvil, volando una distancia de 910 metros. Prueba de lanzamiento, Figura N°1.5.

Figura N°1.6
"El Bicho de Kettering"

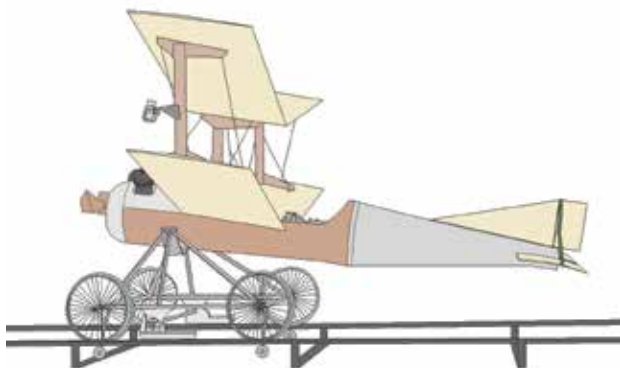


Figura N°1.5
Torpedo Aéreo

La marina norteamericana abandonó definitivamente los esfuerzos por perfeccionar la precisión en los bombardeos en el año 1922, al no conseguir solucionar problemas estructurales de la aeronave y una mala guía por la imprecisión de los giróscopos.

Por su parte, el ejército de este país paralelamente también buscó un desarrollo propio respecto de los bombardeos, construyendo la estructura de una bomba voladora, que recibió el apodo de "El Bicho de Kettering", en honor de su inventor Charles F. Kettering, el que se aprecia en la Figura N°1.6.

Esta aeronave que pesaba 440 libras (casi 200 kg), era capaz de llevar más de 175 libras (cerca de 80 kg) de explosivos a una distancia de 120 kilómetros y a una velocidad de 160 km/hr,



el guiado de la bomba era efectuado por un barómetro que controlaba su altitud y un giróscopo para controlar su dirección lateral. En 1920 el ejército canceló el desarrollo de esta arma debido a fallas en las pruebas y restricciones presupuestarias que se le impusieron.

Siendo estos inventos los únicos conocidos a esa fecha, se buscó mejorar el guiado y precisión de las bombas de aviación para impactar; si bien estos objetivos no fueron logrados de manera exitosa en su totalidad, señalaron la ruta que retomaría Alemania en la Segunda Guerra Mundial y Estados Unidos durante la Guerra de Vietnam.

1.3. PERÍODO ENTRE GUERRAS

Al término de la Primera Guerra Mundial en 1919, la Sociedad de las Naciones impuso, con la firma del Tratado de Versalles, fuertes restricciones presupuestarias, especialmente a Alemania, asimismo limitó la cantidad de aviones que podía poseer, con esto, el mundo creyó ilusoriamente que esa sería la última de todas las guerras. Lo anterior trajo consigo un estancamiento en el desarrollo de las bombas de aviación y la tecnología asociada a ellas, sólo hasta el inicio de la Segunda Guerra Mundial se puede advertir una reactivación de las experimentaciones científico tecnológico, en la búsqueda del perfeccionamiento de este armamento.

La aparición de regímenes de corte militarista, en países como Alemania, Japón e Italia principalmente y su alianza con la Unión Soviética, provocó enfrentamientos ideológicos y deseos expansionistas contra las naciones con gobiernos democráticos. Esto desencadenó una serie de conflictos locales, como la guerra Chino Japonesa (1931-1945), la Guerra de Etiopía (1935-1936) y la Guerra Civil Española (1936-1939). Estos conflictos reintrodujeron el uso de la aviación en el bombardeo de objetivos tanto militares como civiles. Esta forma de acción bélica se vio además fortalecida por los avances tecnológicos desarrollados en el ámbito aeronáutico.

1.4. SEGUNDA GUERRA MUNDIAL (1939 - 1945)

El 1 de septiembre de 1939 estalló la Segunda Guerra Mundial y los países beligerantes, tanto del Eje como de los Aliados, sólo contaban con bombas de caída libre de bajo peso en sus arsenales.

En el transcurso de la conflagración, a medida que los bombarderos asumieron funciones cada vez más importantes, se intentó adecuar su armamento de caída, equipándolos con bombas más eficaces y adecuadas para un uso específico. En ese sentido, se apreció la elaboración de bombas de un nuevo tipo y la suma de características especiales a esas bombas, estudiadas en relación al resultado que se deseaba obtener del bombardeo, un típico ejemplo



está dado por la adopción, por parte de Estados Unidos, de las bombas incendiarias de napalm (gasolina gelatinosa), precisamente en función del tipo de edificios, preferentemente de madera, existentes en las ciudades japonesas que fueron atacadas.

1.4.1. ALEMANIA (1933-1945)

La Luftwaffe (Fuerza Aérea Alemana) utilizaba fundamentalmente tres modelos de bombas, la bomba incendiaria de magnesio que pesaba 1 kilogramo; la bomba de demolición de 250 kg y la bomba de fragmentación de 2 kg. A partir de 1940, se desarrolló principalmente para el lanzamiento con los bombarderos de picada, una bomba de demolición de 500 kg. En 1942 se entregaron a la aviación varios tipos de bombas consideradas más modernas para su tiempo, las que pesaban 400, 1.000, 1.800 y 2.800 kg respectivamente; para poder despegar con estos dos últimos tipos de bombas, los aviones Junkers 88, Heinkel 111 y los

Dornier 217 empleaban intensamente los motores de cohetes auxiliares, además, había un tipo de bomba-mina de 50 kg y la famosa "mina-voladora", o bomba-mina magnética que tanto aterró a los ingleses al comienzo del conflicto y que pesaba entre 500 kg y 1.000 kg, diseminada por submarinos y unidades de superficie de la marina alemana o lanzada por hidroaviones, la bomba-mina se hundía en el agua y explotaba automáticamente por efecto magnético apenas la masa metálica de una nave pasaba cerca de ella. En la Figura N°1.7, se muestran diversos tipos de bombas usadas por Alemania.

Los alemanes disponían de excelentes sistemas de puntería desde el avión, sin embargo prefirieron orientarse hacia el bombardero de picada, partiendo de la suposición de que un avión de este tipo emplea una sola bomba para dar en el blanco, mientras

Figura N°1.7
Bombas de aviación usadas por Alemania en la II G.M.





que con el bombardeo de altura se necesitan decenas de bombas. Por este motivo, todos los bombarderos que siguieron al Heinkel 111 fueron provistos de los frenos aerodinámicos y los dispositivos de desenganche propios de los aviones de picada, con esto las aeronaves resultaron más pesadas y sus características de vuelo por cierto no mejoraron; sin embargo, las instalaciones que se realizaban eran perfectas y toda la maniobra de la picada al desenganche y la posterior recobrada, ya estaba programada y desarrollándose automáticamente apenas el piloto accionaba los respectivos comandos.

Dentro del desarrollo de armamento que llevó a cabo Alemania durante la Segunda Guerra Mundial, se destaca el campo de las primeras armas guiadas, de las cuales sobresale el Ruhrstahl SD 1400 X, denominada por los aliados como "Fritz X", bomba guiada antibuque de 1.400 kg, de los cuales 320 kg eran explosivos para perforar blindajes, la que era lanzada desde un avión en vuelo y planeaba hacia el blanco. Véase la Figura N°1.8.

La Fritz X, recibió una forma delantera más aerodinámica, cuatro pequeñas aletas de 1,4 metros de envergadura y una cola en forma de caja. La bomba era guiada hacia su blanco mediante ondas de radio desde el

avión lanzador, el tripulante que guiaba la bomba tenía que mantener contacto visual con ella, por lo que se instalaron bengalas en las aletas con el objeto de que dejaran una estela de humo que fuera fácil de visualizar desde el avión lanzador.

La desventaja consistía en que el avión debía permanecer volando sobre el blanco durante el guiado, exponiéndolo a la artillería antiaérea y a los posibles aviones enemigos que existieran en la zona. La Fritz X debía ser lanzada desde una altura mayor a los 4.000 metros, si funcionaba correctamente podía perforar hasta 500 mm de blindaje de acero, pero el sistema de control era susceptible a contra medidas electrónicas, ya fuera mediante ondas de radio que bloqueaban aquellas emitidas desde el bombardero lanzador o bien, ondas de radio dirigidas a la bomba ordenándole hacer maniobras bruscas que podían conseguir desviarla y cayera fuera de control.

Estas consiguieron dañar o destruir varios buques, entre los que resalta el hundimiento del acorazado italiano Roma, el 9 de septiembre de 1943.



Figura N°1.8
Bomba Fritz X de origen alemán



1.4.2. INGLATERRA

Los ingleses poseían en un principio, algunos modelos de bombas (de hasta 1.000 libras, equivalente a 454 kg de peso) para "usos generales", tenían escasa penetración y en consecuencia, no eran aptos para atacar posiciones fortificadas o alcanzar naves. No obstante, cubrieron la desventaja inicial que tenían en este campo con una serie de artefactos potentes y mortíferos; tampoco debe olvidarse que los ingleses construyeron y utilizaron las bombas más grandes vistas. Para el ataque a las naves utilizaron bombas perforantes de 2.000 libras (alrededor de 900 kg) y para el típico bombardeo, elementos de gran poder también de 2.000 o de 4.000 libras. También adoptaron el recurso de juntar dos o más bombas de 4.000 libras, formando los llamados Blockbuster, ingenios capaces de pulverizar edificios enteros (como fue evidente en lo realizado sobre ciudades alemanas e italianas).

En referencia al enorme tamaño de las bombas, los ingleses las construyeron

de excepcional potencia, las llamadas Tallboys de 12.000 libras (alrededor de 5.450 kg) y posteriormente, las Grand Slam de 22.000 libras (9.980 kg), estas últimas comenzaron a ser empleadas hacia el final del conflicto, mientras que la Tallboy y las Blockbuster fueron desenganchadas sobre los principales objetivos alemanes, entre los cuales se hallaron los refugios de submarinos; es importante puntualizar que con las Tallboys, los bombarderos ingleses lograron hundir el acorazado alemán Tirpitz.

Los ingleses también diseñaron bombas especiales, como las incendiarias, bombas antisubmarinas, entre otras, debiendo recordar aquellas cilíndricas que giraban alrededor de su propio eje y rebotaban sobre el agua, utilizadas para el ataque a las represas de Móhne, Eder y Sorpe en Alemania el 16 de mayo de 1943, como se aprecia en la Figura N°1.9. Estas bombas y otras de gran tamaño, fueron el fruto de las investigaciones del científico inglés Barnes Wallis.

Figura N°1.9

Ataque a la presa Mohne el 16 de Mayo de 1943





1.4.3. ESTADOS UNIDOS

A pesar que Estados Unidos se incorpora tardíamente a la Segunda Guerra Mundial, logró un importante y variado desarrollo de bombas de diversos tamaños y potencias, las que comenzaron a cumplir objetivos muy específicos.

Las bombas de demolición empleadas por el ejército de los Estados Unidos variaban considerablemente en calidad, peso y potencia, desde 25 libras (11,3 kg) hasta 4.000 libras (1.816 kg). Las más utilizadas fueron las de 1.000 libras (227 kg), estas últimas se popularizaron especialmente en los cazabombarderos, que solían llevar dos bajo las alas y en ocasiones una tercera bajo el fuselaje. Más adelante, los aviones de caza con motores más potentes, como el F6F "Hellcat" de la aviación naval, lograron transportar dos bombas de 1.000 libras.

En lo referido a bombas incendiarias, los norteamericanos emplearon una variante de la bomba inglesa de magnesio de 1,8 kg, pero la escasez del mineral llevó al desarrollo de una versión de napalm (o gelatina de gasolina). Este modelo conocido al principio como M-47, fue dotado de una ojiva más pesada para generar esquirlas, se reveló con la sigla M-69 y se convirtió en uno de los artefactos más letales de la aviación estadounidense. Se almacenaba en adaptadores especiales que contenían más de cien de estas bombas, los que se abrían en vuelo dispersándolas en

un amplio radio. Desde entonces la gelatina de napalm demostró ser un medio tremendamente destructivo e incendiario y su uso se generalizó.

La aviación americana daba preferencia al manejo de muchas bombas por sobre el peso individual de cada una de ellas. Sin embargo, hacia el final de la guerra, se desarrollaba un proyecto para fabricar una bomba de más de 40.000 libras (más de 18.000 kg), aunque nunca llegó a concretarse. Por otra parte, un avión americano suministrado a los ingleses, el Douglas A-20 "Havoc", fue equipado para bombardear los aviones alemanes en vuelo, lanzando sobre ellos un cable de 600 metros de longitud con cargas explosivas atadas. Los "Havoc" modificados fueron conocidos con el nombre de ese ingenio: "Pandora", la Royal Air Force (RAF) los empleó durante algún tiempo.

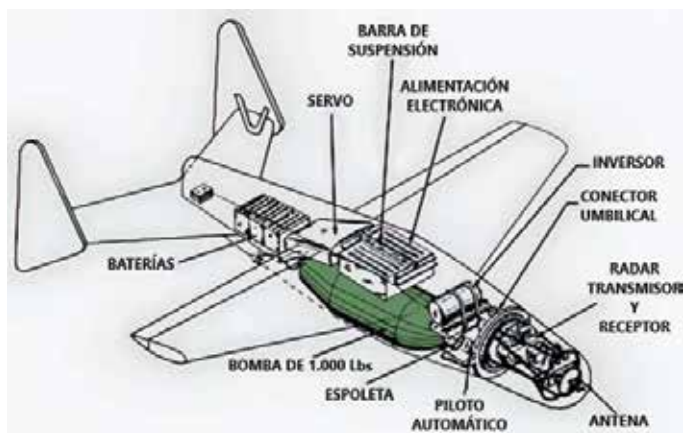
Las bombas más conocidas del arsenal americano fueron los instrumentos atómicos desenganchados sobre Hiroshima y Nagasaki en agosto de 1945. Los aviadores las bautizaron como Little Boy (jovencito) y Fat Boy (niño gordo) respectivamente. La primera de estas bombas pesaba 9.000 libras (4.082 kg) y tenía un diámetro de 71 centímetros, por su parte la segunda pesaba 10.000 libras (4.536 kg) con un diámetro de más de un metro y medio. La principal diferencia entre estos artefactos consistía en que una usaba uranio para su fisión y la otra ocupaba plutonio.



Al igual que los alemanes, los americanos se dedicaron con empeño a la realización de bombas especiales, algunas de las cuales eran autopropulsadas y casi en su totalidad telecomandadas. De la bomba estándar de 2.000 libras (908 kg) se obtuvo una vasta serie de bombas denominadas "bombas planeadoras", indicadas con la sigla GB, iniciales de las palabras en inglés Glide Bomb.

El desarrollo de estas bombas comenzó en marzo de 1941, la GB-1 disponía solamente de un estabilizador giroscópico y de un sistema de preselección que permitía predisponer el ángulo de impacto óptimo antes del lanzamiento; sin embargo, una vez lanzada no podía ser dirigida. Fue utilizada por primera vez en 1944 en un bombardeo sobre Colonia. Las demás bombas (de estas se construyeron y probaron en total 15 modelos, del GB-1 al GB-15) estaban provistas de un sistema de dirección que difería de uno a otro modelo de bomba. Algunos

modelos estaban basados en el radiocontrol por parte de la tripulación del avión que había lanzado la bomba, otros en la identificación del blanco gracias al contraste de su luminosidad con la del ambiente que lo rodeaba (más claro o más oscuro). Esta bomba planeadora sólo podía ser utilizada en condiciones meteorológicas óptimas. La GB-4, muy sofisticada, estaba equipada con un sistema de dirección mediante televisión y la GB-8 estaba dirigida con radiocomandos y emitía una traza de humo para ser observada con atención durante su descenso. Todas las bombas planeadoras estaban provistas de superficies aerodinámicas compuestas por un ala rectangular, un doble empenaje vertical y dos travesaños de fuselaje para unir las alas y los planos estabilizadores al cuerpo de la bomba. Una de estas simples células aplicada a un torpedo denominado GT-1 Glide Torpedo (torpedo planeador), fue utilizado en forma operativa contra naves japonesas por bombarderos Mitchell B-25.



La marina americana utilizó también otro tipo de bomba planeadora: SWOD MK 9 / ASM-N-2 Bat Glide Bomb, denominada BAT (murciélago), Figura N°1.10, obtenida mediante la transformación de una bomba de tipo tradicional de 1.000 libras (454 kg). Este artefacto podía planear

Figura N°1.10
SWOD MK 9 / ASM-N-2 Bat Glide Bomb (Murciélago)



Figura N°1.11
Bomba VB-1 de origen norteamericano

gracias a la habitual célula provista de alas y planos estabilizadores, pero además tenía un radar activo banda S asociada a una espoleta de impacto que lo llevaba con gran precisión sobre el blanco. Comenzó a ser utilizado en abril de 1945 y con el BAT, una aeronave de la aviación naval, hundió un crucero japonés alcanzándolo a una distancia de 32 kilómetros. Se construyeron 2.600 unidades y se utilizó hasta el año 1950.

Otro modelo de bomba especial americana fue la llamada VB (Vertical Bomb), que no tenía aplicada una célula como las bombas planeadoras (GB), pero podía ser controlada de modo azimutal mediante radio comandos que accionaban pequeñas superficies móviles situadas en las aletas estabilizadoras de la cola. Debido precisamente a esta peculiaridad fue denominada

también AZON, por las iniciales de las palabras Azimuth Only (sólo azimut). Estas fueron utilizadas principalmente sobre puentes de ferrocarril y viaductos en el norte de Francia, Holanda,

Italia y Birmania, en esta última zona destruyó 27 puentes, incluido el famoso puente del río Kwai.

La bomba VB-1, Figura N°1.11, fue seguida por el desarrollo del perfeccionamiento de los modelos que aumentaron su potencia como la VB-2 que poseía un cuerpo de 2.000 libras en lugar de 1.000 libras y la VB-3 denominada RAZON, Figura N°1.12, que podía ser controlado su alcance (R por Range). Un posterior modelo la VB-6 denominada "FELIX", fue provista de un dispositivo de rayos infrarrojos que captaba las radiaciones térmicas del blanco. La VB-10 fue equipada, en cambio con un "ojo televisivo", que permitía a la tripulación del avión mantenerla dirigida sobre el objetivo, su dirección era efectuada con radiocomandos.



Figura N°1.12
Bomba VB-3
de origen
norteamericano



A partir de la bomba del tipo VB-10, los nuevos modelos fueron provistos de alas, en un principio cruciformes y luego directamente circulares, los que constituían un anillo colocado alrededor del cuerpo de la bomba. También se cambió su denominación desde la VB-10 hasta la VB-12 que fueron conocidas con el nombre de ROC. A su vez, la serie ROC dio origen a unos veinte proyectos diferentes, aunque ninguno de ellos concretó la fabricación de un artefacto operativo.

Posteriormente, se preparó la telebomba VB-13, denominada TARZON, ver Figura N°1.13, obtenida de la transformación de la bomba inglesa TALLBOY (tallboy, range and azimuth only) de 12.000 libras (5.450 kg), que debido a su tamaño sólo podía ser transportada por bombarderos B-29. Se caracterizaba por estar provista de superficies móviles para el radiocontrol y debía emplearse en contra de las últimas naves de guerra de la flota japonesa. Empero, fue utilizada durante la Guerra de Corea, a

partir de lo cual su uso fue cancelado por defectos en el diseño.

1.4.4. JAPÓN (1937- 1945)

El país nipón concentró sus esfuerzos en el estudio e investigación de las bombas telecomandadas, tras lo que decidieron fabricar misiles aire-superficie (no confundir con las bombas con propulsión de cohete BAKHA, las que eran piloteadas y fueron empleadas para misiones suicidas).

La empresa Mitsubishi concretó un proyecto del ejército japonés, el instrumento I-GO, construido casi totalmente de madera, con motor cohete y radiocomando, fue probado en el avión Ki-67 "Peggy". Un segundo modelo más pequeño con 300 kg de explosivos, del cual se fabricaron casi 200 ejemplares, para su transporte fue necesario modificar el bombardero Kawasaki Ki-48. Un tercer modelo del I-GO presentaba la particularidad de aprovechar un sistema de dirección



Figura N°1.13
Bomba VB-13 TARZON de origen norteamericano



pasivo basado en la onda choque de los cañonazos de las naves enemigas. Es relevante indicar que ninguno de los instrumentos señalados llegó a ser utilizado.

1.5. GUERRA DE COREA (1950 – 1953)

La guerra de Corea es reconocida como el primer conflicto armado de la Guerra Fría, esta última guerra fue generada por intransables visiones y desacuerdos entre Estados Unidos y la Unión Soviética (actual Rusia), junto a los países que decidieron por uno u otro bando. En este escenario la Fuerza Aérea de Estados Unidos (USAF), creada durante el año 1948, dirigió sus esfuerzos en objetivos principalmente de interdicción, con la intención de aislar el tren de abastecimiento desde China hacia el frente de batalla, por lo que nuevamente se requirió la acción de bombardeos de precisión.

La destrucción de puentes, túneles, trenes y vehículos dependía fuertemente de los cazas bombarderos de la USAF a través del bombardeo en picada, que requería de un alto grado de capacitación y entrenamiento de las tripulaciones. Esta bomba una vez lanzada, era afectada por la distancia al blanco, la resistencia aerodinámica, el viento y la densidad del aire. A pesar de los grandes daños que ocasionaron sobre los blancos, la táctica fue costosa y obligó a los diseñadores a buscar una solución tecnológica para superar esos desafíos.

A pesar del masivo uso de bombas convencionales utilizadas durante la Segunda Guerra Mundial, se emplearon dos bombas guiadas en Corea: RAZON y TARZON, las que consiguieron éxitos parciales a pesar de los defectos técnicos que se evidenciaron en ellas.

Durante los tres años que se prolongó este conflicto, la aviación norteamericana lanzó 678.000 toneladas de bombas, cohetes, napalm y otros armamentos, donde las bombas guiadas sólo destruyeron el 2% de los 1.153 puentes devastados. De esa forma considerando la cantidad de bombas empleadas, la probabilidad de alcanzar sus blancos y el resultado, comparados a los totales de la guerra, se infiere que aunque el poder aéreo jugó un rol decisivo para inclinar la balanza en favor de Estados Unidos, no fue precisamente con la utilización de la bomba guiada.

Cabe mencionar, que a pesar de la capacidad nuclear alcanzada por las fuerzas armadas americanas, existió un inventario convencional cada vez más pequeño, obsoleto y poco adecuado para una guerra nuclear total, dada la imposibilidad de satisfacer el requerimiento de un desarrollo científico-tecnológico para que las bombas alcanzaran mayor precisión al impactar el blanco.

1.6. GUERRA DE VIETNAM (1955 – 1975)

El enfoque del desarrollo militar de Estados Unidos, permaneció



inalterable confiando principalmente en el armamento nuclear, lo cual varió en 1961 al asumir como presidente de Estados Unidos John Fitzgerald Kennedy.

El primer mandatario intervino la política de defensa del país, de tal manera que reemplazó la estrategia de "represalia" por una de "respuesta flexible", tanto con lo relacionado al armamento convencional como al nuclear en cualquier parte del planeta. Esto junto con el progreso de las tecnologías del láser y del circuito integrado, permitió que existieran las condiciones para desarrollar la bomba guiada.

El requerimiento del armamento de precisión surgió nuevamente en 1965, con el inicio de la campaña aérea "Rolling Thunder" (Trueno Arrollador) en la guerra de Vietnam y las dificultades experimentadas por los pilotos en el bombardeo con bombas de aviación de propósito general (General Purpose) en misiones de interdicción con aviones supersónicos diseñados para el empleo nuclear. Esto fue solucionado en parte a través de la capacitación y entrenamiento en el uso de este tipo de bombas, ya que las tripulaciones de aviones cazabombarderos, eran muy eficientes en las técnicas para lanzar armamento nuclear, pero muy poco efectivos con armamento convencional.

Al comenzar la operación "Rolling Thunder", el CEP (Error Circular Probable) promedio fue 225 metros respecto del blanco. Los pilotos

demoraron varios años en alcanzar un CEP de 110 metros. Aunque 225 metros no era un error significativo al utilizar armamento nuclear, su efecto resultaba negativo contra blancos como edificios o puentes.

A fin de superar de forma rápida este y los demás requerimientos que surgieron de la nueva doctrina de respuesta flexible, la USAF estableció una oficina de adquisiciones dedicada a la guerra limitada en la Base Aérea de Wright-Patterson, con un destacamento auxiliar en la Base Aérea de Eglin. El primer comandante del destacamento, Coronel Joseph Davis Jr., jugó un papel importante en la solución de los problemas de bombardeo en el sudeste asiático, entregando innumerables horas de dedicación para hallar una solución tecnológica.

En su búsqueda, el Coronel Davis presenció la demostración de un iluminador láser impulsado y buscador, diseñado como parte de un proyecto para el ejército de Estados Unidos, inmediatamente quedó impresionado por el sistema y visualizó la posibilidad de instalar el sistema de guiado en una bomba de caída libre. Pronto se dio cuenta que el guiado de láser ofrecía la capacidad de destruir un blanco con una sola bomba, además de un ahorro tremendo en vidas, aviones y dólares. Como resultado, indicó a varias empresas su interés en propuestas de prototipos de una unidad de guiado de láser con una bomba M-117 (la bomba estándar de la USAF de 750 libras) Figura N°1.14. En mayo de 1965, las



Figura N°1.14
GBU-1, prototipo
de un kit de guiado
lasérico
con una bomba de
aviación modelo
M117 (750 lbs)

empresas North American Aviation (NAA) y de Texas Instruments (TI) presentaron sus propuestas.

El resultado de la competencia de prototipos dio como vencedor a Texas Instruments, quien logró impactar los blancos desde menos de ocho metros de distancia, siendo una de ellas guiada por un láser aerotransportado. El 20 de mayo de 1967, esta empresa firmó un contrato para desarrollar su kit de guiado lasérico, el que sería llamado "Paveway". Tras pruebas adicionales exitosas, el 15 de enero de 1968, la USAF aprobó la compra de 293 unidades para el año, con un costo inicial por unidad de US\$ 16.000. Con su diseño radical, el equipo de Texas Instruments creó una bomba con precisión sin precedentes, la cual marcaría variados y profundos cambios en todos los niveles de las Fuerzas Armadas e incluso en el nivel político.

Al mismo tiempo, la marina norteamericana (US Navy) desarrolló una bomba similar denominada AGM-62 "Walleye", que fue la primera bomba guiada empleada en la Guerra de Vietnam. La Walleye era una bomba de planeo de guiado electro óptico, capaz de ser lanzada a más de 12

kilómetros de distancia contra blancos blindados. A pesar de permanecer en los inventarios de la USAF y USN, la Walleye nunca logró ni la popularidad ni la extensión de su uso como el experimentado por la Paveway, debido a que las primeras Walleye tenían un costo de US\$ 35.000, que comparado con el precio del Paveway de sólo US\$ 16.000, conducía a una menor tasa de adquisición y por ende su empleo fue escaso.

Agregado a lo anterior, una bomba dispara y olvida (Fire and Forget), requería una imagen con alta luz y contraste, lo que restringía su empleo a misiones diurnas con buen tiempo, por lo que esta bomba no era conveniente ni menos renombrada para las tripulaciones que debían operar con la alta nubosidad y defensas antiaéreas en el norte de Vietnam.

Las primeras pruebas de Paveway en combate se realizaron entre mayo y agosto de 1968. Sin embargo, los resultados iniciales de estas pruebas hechas con la bomba M-117, similar a aquellas de la Segunda Guerra Mundial con apariencia bulbosa, fueron menos exitosas que los resultados obtenidos en las experimentaciones con



condiciones óptimas dadas en Estados Unidos, con un CEP de 23 metros. Afortunadamente, se reconocieron las debilidades de la M-117, lo que desembocó en el desarrollo de otra bomba con el sistema Paveway, la denominada MK-84 de 2.000 libras con un diseño más aerodinámico y un cuerpo más largo respecto de la bomba M-117.

Entre julio y agosto de 1968 se realizaron pruebas de la MK-84 guiada por láser contra blancos de combate reales, demostrando un CEP de 6 metros, una de cada cuatro bombas logró golpes directos. Los resultados indicaron un error circular promedio de 2,4 metros y un CEP de 0 metros. En la Figura N°1.15 se visualiza una bomba MK-84 con el kit de guiado por láser.

A pesar de demostrar su capacidad en el combate, la Laser Guided Bomb (LGB) sólo consiguió un uso limitado durante los siguientes tres años a causa de las restricciones políticas

del bombardeo de blancos militares en el norte de Vietnam entre 1968 y 1971, iniciadas por el Presidente de Estados Unidos Lyndon B. Johnson después del término de la ofensiva terrestre que llevó a cabo Vietnam del Norte en la ciudades del sur del país y la Operación "Rolling Thunder" de éxito discutible. En cierta medida, esos años sirvieron para resolver las observaciones expresadas durante las pruebas.

En la operación del Paveway, un avión designaba al blanco con un láser, el cual se reflejaba desde allí, creando un cono o "canasta" en el cielo. El avión atacante simplemente lanzaba su bomba en la canasta y el sensor y sistema de guía de la bomba la dirigían al punto designado, ver Figura N°1.16. Durante las pruebas el avión designador empleaba un láser fijo, lo cual inhibió que lanzara bombas propias y lo obligaba a volar en un círculo preciso y predecible alrededor del blanco en medio de defensas antiaéreas. En los años entre las operaciones "Rolling



Figura N°1.15
Kit LGB tipo PAVEWAY, utilizando una bomba de aviación tipo MK-84



Thunder" y "Linebacker", se desarrolló un contenedor de designación llamado Pave Knife, que permitía a un avión lanzar bombas propias, además de designar para otras mientras salía de su exposición a las amenazas.

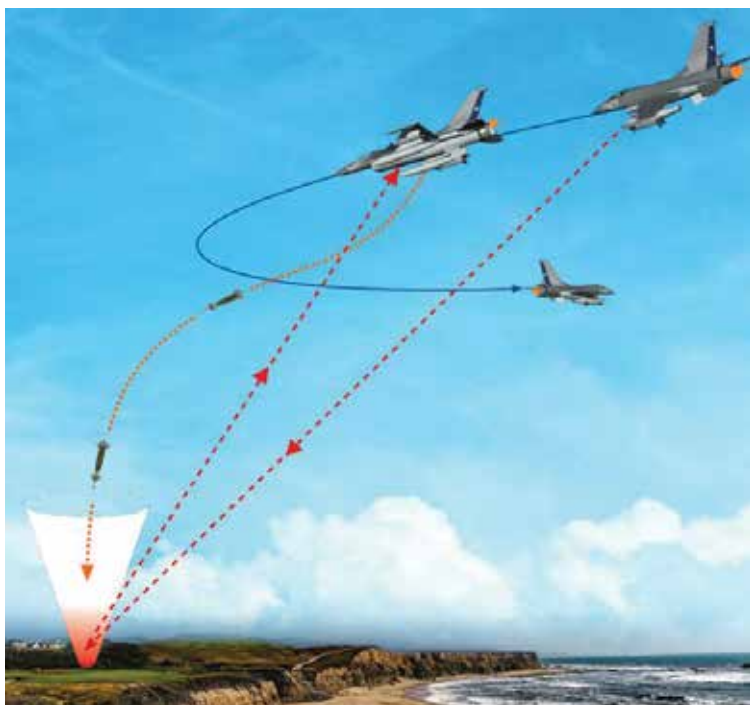
La primera demostración a gran escala del potencial de la bomba guiada fue durante la Operación Linebacker I, en Vietnam entre el 9 de mayo y 23 de octubre de 1972. Para demostrar su compromiso con Vietnam del Sur y contrarrestar la Ofensiva de Pascua iniciada por el Ejército de Vietnam del Norte, el 30 de marzo de 1972, el presidente Richard Nixon autorizó una operación masiva diseñada para cortar las líneas de reabastecimiento de armas y otros suministros desde el extranjero.

Esta campaña y la siguiente, Linebacker II, son consideradas por muchos como campañas aéreas exitosas, que decidieron el resultado del conflicto general obligando a Vietnam del Norte a firmar un acuerdo de paz en París en enero de 1973. La operación incluyó un nuevo conjunto de reglas de enfrentamiento mucho menos

restrictivo, que permitían bombardear un blanco con precisión reduciendo el daño colateral en zonas próximas habitadas por civiles.

El resultado del uso de la bomba guiada fue concluyente, a modo de ejemplos los puentes ferroviarios más importantes que conectaban Hanoi y la capital de Vietnam del Norte con el puerto de Haiphong, donde llegaban el abastecimiento desde China, fueron atacados con bombas guiadas, sin riesgo a daño colateral o a ciudadanos, entre el 10 y 12 de mayo se destruyeron seis puentes, a continuación los ataques a los ferrocarriles de Vietnam del Norte hacia China fueron interdictados. Así quedó demostrado el logrado avance en la tecnología y las tácticas aplicadas.

Figura N°1.16
Esquema de guiado láserico





Otra acción corresponde a uno de los ejemplos destacados del efecto de la bomba guiada sobre el puente de Thanh Hoa, conocido como la "Mandíbula del Dragón". Este puente medía 165 metros de largo y 17 metros de ancho, representando la arteria aorta del flujo de suministros desde los puertos y fábricas de Vietnam del Norte hacia la Ruta Ho Chi Minh y Vietnam del Sur. El puente fue atacado por primera vez el 3 de abril de 1965 por F-105 Thunderchief de la Base Aérea Tailandesa Korat. La misión fue compuesta por 46 F-105, 21 F-100, 2 RF-101 y 10 tanqueros, un conjunto más grande que el inventario total de cazas de Vietnam del Norte en el momento. Empleando 32 misiles AGM-12 Bullpup y 120 bombas de 750 libras, el efecto logrado por esta misión fue despreciable. En el proceso se perdieron un F-100 y un RF-101. El siguiente día volvieron 48 F-105, lanzando 300 bombas de 750 libras y causando daño, pero no neutralizando el puente.

De este modo, a lo largo de 869 salidas

y siete años de guerra, hasta el 13 de mayo de 1972, cuando doce F-4 Phantom armados con 15 bombas Mk-84 y nueve bombas M-118, todas guiadas por láser, vencieron al puente dejándolo completamente inutilizable, ver Figura N°1.17.

Con tan sólo una misión utilizando armamento de precisión, se logró lo que con años de ataques y variado armamento había resultado imposible.

Cuando por fin se hizo factible la bomba guiada durante la Guerra de Vietnam, se transformó la manera cómo las Fuerzas Armadas de Estados Unidos realizarían las operaciones de combate en el futuro, entregando al nivel político una nueva y poderosa capacidad que jamás había existido antes.

1.7. ÚLTIMOS 40 AÑOS

A pesar del significativo impacto durante la guerra de Vietnam, la adopción inicial de la bomba guiada



Figura N°1.17

Puente de Thanh Hoa, destruido por bombas de aviación guiadas por laser



surgió principalmente a partir de la iniciativa de los mandos y tripulaciones tácticas, a través de recomendaciones verbales desde los niveles operativos hacia la superioridad. No obstante, el interés y la demanda por este tipo de armamento también fue consolidado en los niveles estratégicos, especialmente tras los resultados obtenidos en la operación Linebacker II.

Durante las décadas de 1970 y 1980, el Departamento de Defensa continuó mejorando la LGB y las bombas electro ópticas. La segunda generación de LGB llegó en 1974 con el Paveway II, adaptado para las mismas bombas de propósito general de 500 y 2.000 libras, además de un nuevo kit para la bomba de 1.000 libras de la marina norteamericana, las que fueron designadas como "unidades de bombas guiadas" (guided bomb units, o GBU), con las GBU-10 de 2.000 libras, GBU-12 de 500 libras y GBU-16 de 1.000 libras. Además de bajar su costo, esta bomba guiada mejoró las capacidades electrónicas y sensibilidad de su unidad buscadora y empleó aletas de cola plegables.

La Paveway II fue producida por empresas en el Reino Unido, resultando en un kit adaptado para una bomba británica de 1.000 libras.

Esta bomba jugó un papel importante, cuando una fuerza expedicionaria británica la empleó en la operación de recuperación de las islas Falklands, entre abril y junio de 1982. Las bombas guiadas formaban un

elemento importante de una fuerza moderna compuesta por portaviones, submarinos y aviones de despegue vertical armados con misiles, sin la cual es dudoso que el Reino Unido hubiera podido proyectar su fuerza tan eficazmente como lo hizo en el Atlántico Sur.

El primer empleo del Paveway II por Estados Unidos, ocurrió entre el 14 y 15 de abril de 1986 durante la Operación Cañón Dorado, cuando aviones F-111 de la USAF operando desde la base RAF Lakenheath en Reino Unido, bombardearon el puesto de mando en Libia en que se encontraba su gobernante el Coronel Muamar el Gaddafi, además del sector militar del aeropuerto y un campo de entrenamiento terrorista en Trípoli. En otro flanco aviones A-6 Intruder de los portaaviones USS América y USS Coral Sea, bombardearon el puesto de mando alterno y la base aérea en Bengasi. Basado en los efectos estratégicos logrados, la operación en Libia es considerada un éxito. Sin embargo, varios blancos de los F-111 no fueron correctamente identificados ni atacados con la precisión debida, incluso un avión norteamericano fue derribado en el proceso, marcando una experiencia alejada de la perfección para las nuevas bombas guiadas.

La bomba guiada experimentó un desarrollo no menor durante los años 80. La primera fue la GBU-15, este sistema representó la evolución del AGM-62 Walleye, entrelazando la tecnología del guiado electro óptico y el guiado infrarrojo con la bomba MK-



84 creando una bomba guiada con un mayor alcance que las LGB. Esta bomba presentaba ventajas comparativas respecto de otras. En su modo de ataque directo, capturaba la imagen del blanco antes del lanzamiento y se guiaba de forma autónoma. En su modo de ataque indirecto, la tripulación podía guiar la bomba utilizando datalink hasta que impactara en el blanco. De esta manera, se podía emplear la GBU-15 en condiciones climáticas adversas que impedían el uso de las bombas guiadas por láser, dado que las tripulaciones eran capaces de ver el blanco a través de la bomba, después de salir de las nubes. Así, a pesar de tener un costo diez veces más alto que la GBU-10, esta arma añadió una nueva y potente capacidad al inventario estadounidense.

Finalmente, el último desarrollo Paveway III, que representaba una mejora sobre la primera generación de bombas guiadas por láser (LGB) en términos de producibilidad y confiabilidad. Su rendimiento fue mejor, aunque de manera paulatina. Una de sus grandes limitaciones era que tenía que ser lanzada desde alturas medianas o en un modo de lanzamiento que degradara su adquisición y precisión. Fue de particular interés para las fuerzas armadas europeas en los años 70 y 80, donde la densidad de defensa antiaérea del Pacto de Varsovia y los techos de nubes, dictaban ataque a bajo nivel por aviones cazabombarderos de alta velocidad, creando la necesidad de una LGB con estas capacidades. Como resultado, donde las primeras dos Paveway

empleaban tecnología relativamente sencilla y de bajo costo, el Paveway III empleaba un sistema complejo, con la capacidad de guiarse hasta adquirir la energía de un láser y después seguir una trayectoria de navegación proporcional, donde el movimiento de los canard era proporcional a la distancia que la bomba erraba de su rumbo deseado, resultando en una trayectoria de vuelo más lisa, con mayor alcance y aún mayor precisión. Como resultado del gran cambio conceptual de guía, la Paveway III experimentó algunas dificultades en las pruebas, con bombas de 500 libras, la guía fue demasiado sensible. Además, el costo de producción de cada kit era aproximadamente de US\$ 36.000, varias veces más que el costo del Paveway I o Paveway II. La resultante bomba (denominada GBU-24) juntó al Paveway III con las bombas de 2.000 libras MK-84 y BLU-109. A pesar de menores números producidos a un mayor costo, en 1986 esta bomba añadió otra notable capacidad al inventario de Estados Unidos.

En la década siguiente, el pequeño estado petrolero del Golfo Pérsico Kuwait, es invadido por el gobernante iraquí Saddam Hussein, el 2 de agosto de 1990. Irak poseía el cuarto ejército más grande del mundo, el que había sido endurecido por años de combate contra Irán (1980-1988). Poseía artillería avanzada, tanques de primera línea, modernos aviones de combate, misiles balísticos, armas químicas y biológicas y un sistema de defensa aérea sofisticada provista por los franceses. Sin embargo, en una operación de sólo



seis semanas, entre el 17 de enero y 28 de febrero del 1991, Estados Unidos y otras fuerzas de la coalición formada para apoyar la recuperación de Kuwait, destruyeron las fuerzas iraquíes con muy pocas bajas.

La coalición dominó cada aspecto de la guerra, controlando el aire casi de inmediato y preparando el campo de batalla para el asalto final por fuerzas blindadas. Como resultado, se estima que Irak perdió alrededor de 3.800 tanques por los ataques aéreos y terrestres, mientras que Estados Unidos perdió sólo 15 vehículos militares. A pesar del empleo de bombas guiadas en varios conflictos después de Vietnam por parte de los norteamericanos y de otros países, la Operación Tormenta del Desierto demostró la consolidación a gran escala del uso en combate de la bomba guiada.

En los 42 días de combate, se lanzaron 15.500 Bombas guiadas, lo que constituyó el 7,3 % del total del armamento lanzado durante esta campaña (210.800 bombas), un número pequeño pero un aumento significativo comparado con su empleo de menos de 1% en la guerra de Vietnam. Sin embargo, este 7,3 % del armamento resultó en el 75% de la destrucción de los blancos bombardeados con un CEP de menos de 3 metros. Esto permitió que con bombas guiadas GBU-12, se destruyeran más de 150 vehículos blindados por noche durante las últimas dos semanas de la guerra, dejando a más de 1.500 vehículos destruidos. También Aviones F-117 con GBU-27

atacaron blancos endurecidos, tales como refugios de aviones, búnkeres y otros blancos estratégicos en Bagdad. Bimotores F-111 y F-15E emplearon GBU-24 para destruir puentes, refugios de aviones e instalaciones de almacenamiento químicos, biológicos y nucleares, entre otros blancos.

Toda una hazaña protagonizó una bomba que fue desarrollada completamente durante la guerra de 42 días. Irak poseía varios búnkeres muy endurecidos y difíciles de destruir con el armamento disponible. Por lo que en sólo 17 días científicos de la USAF desarrollaron, construyeron, probaron y desplegaron una nueva bomba de guiado láser de 4.637 libras, que penetró más de 30 metros de tierra desierta. Designada como GBU-28, empleada en las últimas horas de la guerra por un par de F-111 contra un búnker de mando iraquí de Al-Taji, el 27 de febrero de 1990.

De esta forma, Tormenta del Desierto no fue una campaña de bombardeo similar en cuantía a otras campañas aéreas, pero sí fue más decisiva en cuanto a lo que se logró en cualquiera de las guerras previas y con una economía de esfuerzo y precisión jamás observada antes.

Si se analizan los ejemplos descritos, se infiere que las bombas guiadas significaron un importante aporte en la destrucción de la máquina militar de Irak, a diferencia de guerras previas, el poder aéreo fue el factor decisivo en esta refriega, lo cual fue la proyección que se estableció al iniciar el conflicto.



Figura N°1.18

Bomba de aviación MK-84, con kit de guiado JDAM

La operación Tormenta del Desierto fue exitosa y posicionó el uso de las bombas guiadas, pero también se evidenció un déficit en la capacidad de armas aire-tierra. Las condiciones meteorológicas adversas limitaron el empleo de las bombas guiadas, la investigación y el desarrollo de una "munición guiada de precisión para condiciones meteorológicas adversas" comenzaron en 1992, las primeras de ellas se entregaron en 1997 y las pruebas operativas iniciales se realizaron en 1998 y 1999, denominándose JDAM "Joint Direct Attack Ammunition", kit denominado JDAM, que se visualiza en la Figura N°1.18, asociada al cuerpo de la bomba de aviación MK-84, con la que luego de exhaustivas pruebas, se registró una confiabilidad sin precedentes del sistema del 95%, mientras logró una tasa de precisión de 9,6 metros.

El rendimiento de JDAM se ha demostrado en pruebas operativamente representativas que incluyen lanzamiento a través de nubes, lluvia y nieve. Estas pruebas incluyeron un bombardero B-2 que lanzó 80 JDAM en una sola pasada contra múltiples objetivos. La JDAM hizo su debut en combate durante la Operación Fuerza Aliada (Guerra de

Kosovo). Los B-2 volaron 30 horas sin escalas, en vuelos de ida y vuelta desde la Base de la Fuerza Aérea Whiteman, Missouri, lanzando más de 600 JDAM durante la operación Allied Force, en Kosovo.

A pesar del desarrollo exitoso llevado a cabo por Estados Unidos al disponer de una bomba guiada de precisión que no fuera afectada por las condiciones meteorológicas, como fue la JDAM, sólo años después, como producto de un proyecto conjunto entre la Armada y la Fuerza Aérea norteamericanas, se desarrolló una nueva bomba guiada de precisión, para atacar especialmente blancos defendidos fuera del alcance de los sistemas de defensa antiaérea, con la finalidad de aumentar la sobrevivencia de los aviones atacantes y minimizar las pérdidas propias, es conocida como la bomba guiada de precisión AGM-154 Joint Standoff Weapon (JSOW), cuyo concepto es Arma de Lanzamiento a Distancia de Seguridad.

La JSOW entró en servicio en 1990 y es un arma del tipo dispara y olvida, que emplea un sistema integrado de posicionamiento global (Positioning System, GPS) y un sistema de navegación inercial



Figura N°1.19

Diseño artístico de una bomba guiada AGM-154 Joint Standoff Weapon (JSOW)

(Inertial Navigation System, INS) que permite operar de día y de noche y en condiciones meteorológicas adversas, apreciándose el diseño artístico de la JSOW, ver Figura N°1.19

Aun así, Estados Unidos buscó desarrollar una bomba guiada que tuviera condiciones de penetración superiores a las ya existentes en otras bombas, precisión en condiciones meteorológicas adversas y con un lanzamiento que se llevara a cabo fuera del rango de la defensa aérea del enemigo.

El trabajo conjunto entre la Fuerza Aérea y la Armada de los Estados Unidos permitió la creación de la Joint Air to Surface Standoff Missile (JASSM), con la AGM 158-A, la cual es considerada como un misil autónomo (tiene propulsión propia una vez lanzado), aire superficie de mediano alcance,

que porta una carga de explosivos capaz de penetrar importante blanco estratégico.

1.8. FUTURO

La ciencia y la tecnología militar han experimentado en los últimos años un alto nivel de desarrollo, especialmente en las áreas de electrónica e informática, lo que posibilita el diseño y construcción de un armamento aéreo que implicará mayor eficiencia y precisión en su empleo comparativamente al existente.

La tendencia respecto del armamento aéreo guiado, apunta a que estas armas sean en el futuro próximo cada vez más seguras, fiables y menos costosas. Mientras se continúa usando las bombas convencionales (no guiadas) por su bajo costo, aunque limitadas a objetivos poco defendidos.



Se espera además que las bombas guiadas sigan evolucionando con el apoyo de nuevas tecnologías de guiado y la adición de dispositivos para aumentar el alcance, permitiendo que las plataformas aéreas que las transportan y lanzan queden fuera del rango de las armas de la defensa aérea que dan protección al objetivo a batir, buscando mejorar la precisión en el blanco, destruyéndolo y minimizando daños colaterales.



2. CUERPO DE LA BOMBA DE AVIACIÓN

En este capítulo, se describe el cuerpo de una bomba de aviación, señalando algunas de sus características más relevantes y cómo este cuerpo cumple la función de integrar partes o piezas, las que sumadas conforman una bomba de aviación.

2.1. ANTECEDENTES

Tal como fue señalado en el libro "Armamento Aéreo", publicado en el año 2018 por este autor, el cuerpo de la bomba de aviación es el componente fundamental donde se transporta el explosivo, que al activarse experimenta una reacción de descomposición química rápida y auto propagante, acompañado de productos gaseosos y calor, desarrollando un efecto de presión repentina, cuyos efectos por impacto directo o proximidad produce en el blanco u objetivo seleccionado su destrucción total o inutilización para cumplir su función.

La estructura a la cual se denomina

cuerpo de una bomba de aviación, posee una forma aerodinámica para facilitar su vuelo una vez lanzada desde una aeronave para batir un objetivo fijado, en cuyo interior se almacena el explosivo en un estado sólido.

El material empleado en la fabricación de su estructura, es preferentemente de acero, lo que permite fragmentar el cuerpo de la bomba en cientos de esquirlas al momento de la explosión, proyectándolos en todas direcciones y que asociados a una alta temperatura y presión que se produce durante la activación de la bomba, logran infringir un importante daño tanto a las tropas enemigas como a objetivos a batir.

Un ejemplo de lo señalado se aprecia en la Figura N°2.1, el cuerpo de una bomba de aviación del tipo MK-84, considerado como un diseño de amplio uso a nivel mundial en nuestros días.

Por otra parte algunos de estos cuerpos, de acuerdo a la función para los que fueron diseñados, pueden ser



Figura N°2.1
Cuerpo Bomba
de Aviación
MK-84



Figura N°2.2
Bomba racimo CB-250K

o recipientes que portan pequeñas bombas o minas, que una vez lanzadas desde una aeronave, inician su activación en el aire por una espoleta, la que produce que el cuerpo se fragilice y separe en partes, liberando su carga (bombas o minas) que se diseminan en áreas extensas para cumplir la función: ataque a tropas o minado de superficie.

fabricados con otros materiales como aluminio o fibra de vidrio, por lo que se indica como ejemplo la bomba clúster o racimo, ver Figura N°2.2, y una ilustración de su funcionamiento en la Figura N°2.3.

Estas generalmente son contenedores

Asimismo, es necesario recordar que el diseño del cuerpo de una bomba, puede ser modificado tanto en su forma como con el material con que se fabrica y esto depende exclusivamente del blanco que se pretende destruir, lo que define su particularidad estructural para que cumpla la función.

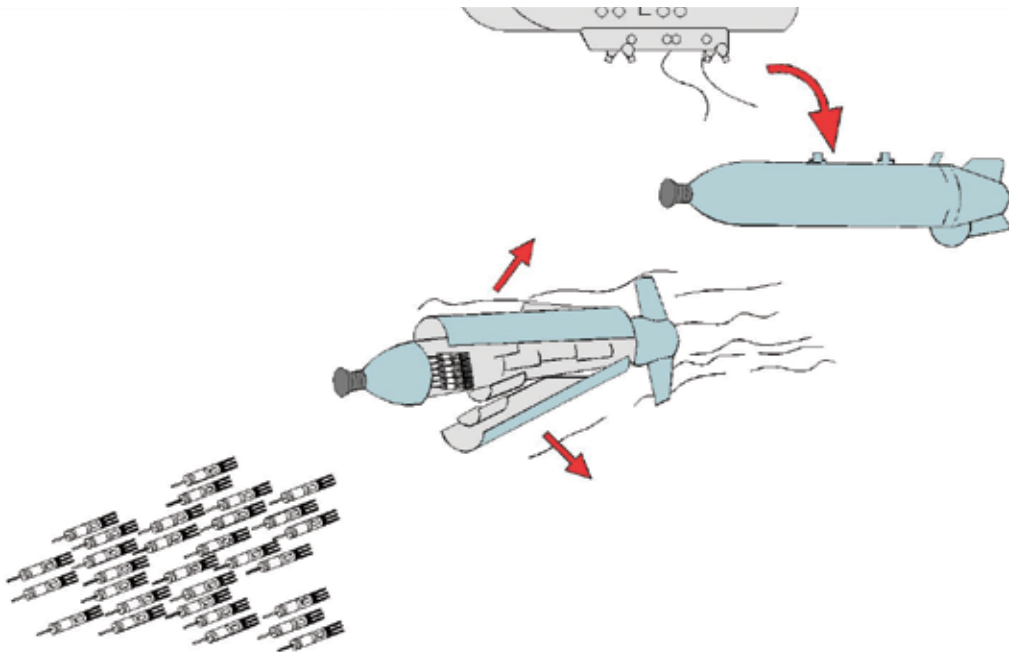


Figura N°2.3
Esquema de funcionamiento de una bomba de aviación tipo racimo



2.2. CUERPO DE LA BOMBA DE AVIACIÓN

Como se ha señalado inicialmente en este capítulo, el cuerpo de una bomba de aviación permite integrar elementos que lograrán, una vez que sea activado su tren explosivo, el efecto destructivo sobre el blanco.

En términos generales, los componentes que se integran al cuerpo de la bomba de aviación son:

2.2.1. Ganchos de suspensión, sirven de interface entre la aeronave (agrupador de bombas) y la bomba de aviación.

2.2.2. Estabilizador, que se adosa a la parte trasera del cuerpo de la bomba,

estabilizándola durante su trayectoria al blanco una vez que es lanzada desde la aeronave que la transporta.

2.2.3. En espacios determinados en el cuerpo de la bomba se aloja la o las espoletas, las cuales permiten la activación del tren explosivo de la bomba una vez lanzada desde la aeronave.

2.2.4. Componentes accesorios, los que completarán el armado de la bomba brindando seguridad durante el proceso de manipulación, carguío en la aeronave, vuelo cautivo y posterior lanzamiento. Paralelamente, una vez que se inicia el lanzamiento desde la aeronave, comenzará el armado del tren explosivo finalizando con la

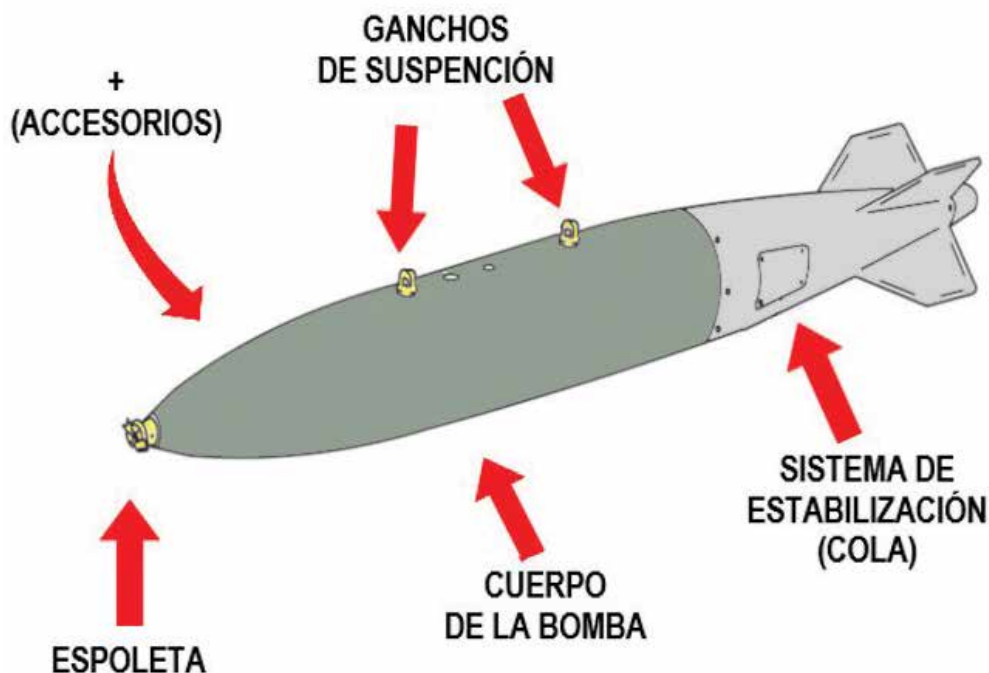


Figura N°2.4
Función integradora del cuerpo de la bomba de aviación.



activación de la bomba, propiciando la destrucción o inutilización del blanco u objetivo a batir.

Tales accesorios pueden ser: alambre de armar, clips, booster, tornillos, entre otros, dependiendo del diseño desarrollado en la bomba de aviación. Esto se representa en la Figura N°2.4, en la que se aprecia en perspectiva, la función integradora del cuerpo de la bomba con los elementos previamente señalados.

En general, el cuerpo de la bomba de aviación posee una cavidad interna que permite su llenado con explosivos. También presenta alojamientos, que

de acuerdo al diseño de cada bomba, permite instalar el estabilizador, los ganchos de suspensión y las espoletas junto con los accesorios.

Ejemplos de lo descrito se puede apreciar en la Figura N°2.5 de una bomba del tipo MK (propósito general) y en la Figura N°2.6 respecto de una bomba del tipo BLU (penetración).

En conclusión, el cuerpo de una bomba de aviación constituye un espacio integrador de componentes como espoletas, ganchos de suspensión, estabilizador y accesorios asociados de acuerdo a su diseño.

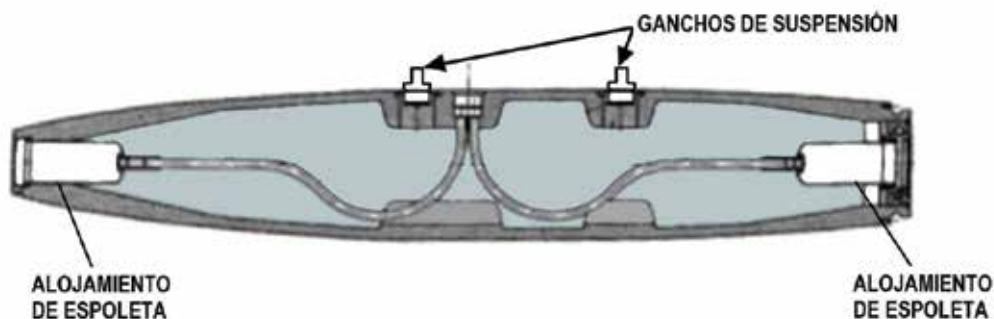


Figura N°2.5
Interior de una bomba de aviación del tipo MK



Figura N°2.6
Interior de una bomba de aviación de penetración del tipo BLU.



3. QUÍMICA DE EXPLOSIVOS Y EFECTOS

Es importante destacar, que el desarrollo del siguiente tópico no habría sido posible sin el desinteresado aporte del Capitán de Corbeta Hugo Fuentealba Quiroz y de la Empleada Civil Srta. María Angélica Muñoz Morales, ambos pertenecientes a la Armada de Chile, Arsenal Naval de Talcahuano. Para ellos mis agradecimientos por compartir sus conocimientos y experiencias, permitiendo la construcción de este capítulo.

En este capítulo se desarrollan conceptos referidos a la química de los explosivos, la clasificación general de explosivos y propelentes, la definición de los conceptos combustión, deflagración y detonación describiendo sus propiedades, se abordará el concepto de vida útil asociado a los explosivos. Finalmente, se visualizarán los efectos que producen las bombas de aviación sobre el terreno.

3.1. INTRODUCCIÓN

Se estima que el primer material energético, conocido en nuestros tiempos como pólvora negra, fue descubierto de forma accidental en el año 220 A.C. por alquimistas chinos que intentaban separar metales con distintas reacciones de combustión. En esa ocasión y de acuerdo a la información histórica, se agregó nitrato de potasio y azufre a una mezcla

de minerales, olvidando agregar en primer lugar carbón molido, tal como lo hacían de manera habitual, por lo que al agregarlo al final del proceso se produjo una explosión.

La pólvora negra contiene azufre y carbón como combustible, y nitrato de potasio como oxidante, los que con la granulometría correcta se mezclan para dar forma a un material de alta sensibilidad a estímulos calóricos, mecánicos o eléctricos, que libera gran cantidad de gases y calor al entrar en régimen de combustión.

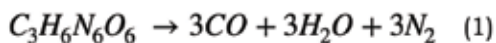
La combustión es un proceso químico común para todos los materiales energéticos, hidrocarburos y materiales combustibles, conocido como oxidación-reducción (redox), en el que un combustible se oxida y un oxidante se reduce. Cabe señalar que los conceptos de oxidación y reducción pueden ser representados por la pérdida o ganancia de hidrógeno o pérdida o ganancia de electrones (oxidación corresponde a la ganancia de hidrógeno o de electrones, mientras que reducción a la pérdida de ellos).

En el día a día, la combustión se visualiza, por ejemplo en la quema de madera, proceso en el que el material combustible se quema en presencia de oxígeno ambiental, generando gases, luz y calor. En el citado ejemplo, la continuidad de la reacción de



combustión dependerá de la presencia de oxígeno, combustible remanente y de la energía inicial (concepto conocido de manera coloquial como triángulo del fuego).

Para el caso de los materiales energéticos, la combustión puede generarse sin presencia de oxígeno ambiental, por cuanto esta última forma parte de la mezcla o se encuentra presente en su composición química. Asimismo, el combustible forma parte de la mezcla o está presente molecularmente, siendo por tanto, solamente necesario generar un estímulo que supere el umbral de activación para dar comienzo a la reacción de combustión. Un ejemplo puede visualizarse en la reacción del RDX, explosivo que contiene su propio oxígeno para detonar (1).



3.2. CLASIFICACIÓN DE LOS EXPLOSIVOS

Los materiales energéticos pueden clasificarse de acuerdo al origen de la energía que liberan al reaccionar, estos son físicas, químicas o nucleares.

Las físicas corresponden a explosiones que se generan por el cambio de fase de una mezcla o por la expansión de gases acumulados en un cuerpo (explosión de una caldera de vapor por sobrepresión).

Las químicas corresponden a explosiones que se generan por reacciones que provienen de la ruptura de enlaces moleculares y que se caracterizan por formar una onda de choque que se desplaza a altas velocidades.

Las nucleares corresponden a explosiones que se generan a nivel átomo y que se estiman, generan millones de veces más energía que las explosiones químicas.

3.3. EXPLOSIVOS QUÍMICOS

La mayoría de los explosivos químicos contienen oxígeno, nitrógeno y elementos oxidables (combustibles) tales como el carbono o el hidrógeno. Las reacciones de combustión se caracterizan por la ruptura de las moléculas que poseen nitrógeno y oxígeno, para que estos últimos se combinen con los componentes combustibles, para formar principalmente CO_2 , H_2O , N_2 . Desde el punto de vista termodinámico, el calor liberado corresponde al resultado de la diferencia entre calor que se necesita para romper las moléculas iniciales (provisto por el mecanismo de activación) y el calor liberado durante la recombinación o transformación de productos.

De acuerdo a su naturaleza química, los explosivos pueden ser clasificados en explosivos moleculares y mezclas explosivas.



3.3.1. EXPLOSIVOS MOLECULARES

Son aquellas sustancias que poseen grupos moleculares de características explosivas, tales como:

1. Nitro
2. Ésteres nitrados
3. Nitraminas
4. Ácidos perclóricos
5. Azidas
6. Fulminatos y compuestos ricos en nitrógeno como el tetraceno, peróxidos, etc.

3.3.2. MEZCLAS EXPLOSIVAS

Son aquellas sustancias heterogéneas (mezclas de varias sustancias), con potencial explosivo. Generalmente, corresponden a mezclas de uso civil de baja capacidad energética, que permiten que el transporte de los agentes se realice de forma separada y por tanto, con mayor seguridad y que la mezcla se genere en el lugar y momento deseado. Un ejemplo claro de lo anterior corresponde al explosivo denominado como ANFO, mezcla de Nitrato de Amonio (fertilizante) y fuel-oil (hidrocarburo), que al mezclarse en proporciones correctas reúne las características de explosivo.

Asimismo, y de acuerdo a su performance, los explosivos pueden clasificarse en primarios, secundarios y propelentes.

3.3.2.1. EXPLOSIVOS PRIMARIOS

Corresponden a explosivos moleculares altamente sensibles al calor, fricción chispa eléctrica y a otras ondas de choque que tienen una transición casi instantánea de deflagración a detonación, siendo capaces de liberar una gran cantidad de energía en una fracción de segundo. La citada energía es a su vez capaz de iniciar explosivos menos sensibles (explosivos secundarios), razón por la que también se les denomina como explosivos iniciadores.

Ejemplos de explosivos primarios son la azida de plomo, estifnato de plomo, azida de mercurio y fulminato de mercurio.

3.3.2.2. EXPLOSIVOS SECUNDARIOS

Corresponden a explosivos moleculares de relativa sensibilidad (menos sensibles que los explosivos primarios) al calor o chispa, que pueden ser detonados por acción de otra onda de choque. La energía que liberan se manifiesta como onda de choque con alta brisancia (poder rompedor)

Ejemplos de los citados explosivos son el Tetril, TNT, ácido pícrico, nitroglicerina, nitrocelulosa, RDX, HMX, TATB, dinamita, entre otros.

3.3.2.3. PROPELENTES

Corresponden a materiales o mezclas que se queman o deflagran y no experimentan una transición



a detonación. Su reacción de combustión se produce de forma lenta en comparación con los explosivos primarios y secundarios (del orden de milímetros o centímetros por segundo). Su energía es normalmente utilizada para propulsar cohetes y proyectiles de artillería.

Ejemplos de propelentes corresponden a pólvora negra, pólvoras sin humo, propelentes líquidos, propelentes sólidos del tipo composita.

3.4. FENÓMENOS DE COMBUSTIÓN, DEFLAGRACIÓN Y DETONACIÓN.

Como se señaló previamente, un proceso de combustión corresponde a una reacción oxido reducción (redox) en la que un combustible se oxida en presencia de oxígeno ambiental, a la vez que libera calor, luz y gases. Una forma fácil de reconocer un fenómeno de detonación corresponde al ruido o estruendo que se escucha al producirse la iniciación y que dura fracciones de segundos. Por el contrario, para el caso de la deflagración el ruido es similar a un silbido y su duración es del orden de segundos.

Los tres fenómenos, combustión, deflagración y detonación, serían por tanto un fenómeno similar en el que un material se transforma en productos, liberando calor, luz y gases, pero que se diferencian entre sí por la velocidad, tiempo de ocurrencia y otros aspectos que se presentan en la Tabla N°1.

3.5. PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS

Todo material energético dependiendo de su uso ya sea para municiones o para demoliciones, debe cumplir ciertos rangos militares y/o características técnicas asociadas a las propiedades fisicoquímicas, mecánicas de cada sustancia a analizar, que tienen la finalidad de entregar seguridad y confiabilidad en su manipulación, operatividad y almacenamiento.

Tales características se pueden determinar mediante ensayos químicos de densidad, solubilidad, acidez, entre otros, o por métodos analíticos e instrumentales, en donde encontramos ensayos de Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC), Monitor de Actividad Térmica (TAM), Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia (HPLC), Cromatografía de Gases (GC), Bomba balística, Bomba manométrica, entre las más utilizadas.

Conocer las propiedades de los explosivos es fundamental para determinar el rendimiento del material, estabilidad química durante su manejo y almacenamiento, realizar predicciones significativas en el diseño de una explosión o demolición, extender su vida útil o sencillamente darlo de baja. Dentro de las características más importantes encontramos la densidad, balance de oxígeno, calor de combustión o detonación, temperatura de combustión o detonación, velocidad de detonación



Material combustible no explosivo	Material que deflagra	Material explosivo
Es iniciado por llama, chispa o altas temperaturas	Es iniciado por llama, chispa, fricción, onda de choque o altas temperaturas	Es iniciado por llama, chispa, fricción, onda de choque o altas temperaturas
No pueden ser iniciados en presencia de humedad	No pueden ser iniciados en presencia de humedad	Pueden ser detonados en presencia de humedad
Necesita Oxígeno ambiental	Contiene Oxígeno en su composición	Contiene Oxígeno en su composición
Combustión presenta llama sin ruido	Produce llama y un sonido similar a un silbido que dura todo el proceso de deflagración	Presenta sonido fuerte que dura una fracción de segundo y es acompañado normalmente por una bola de fuego
Genera gases	Genera gases que se utilizan para propulsar	Genera una onda de choque que se utiliza como efecto rompedor
Velocidad de quema más lenta que deflagración	Velocidad de quema más lenta que detonación	Velocidad de reacción supersónica
Propagación de la reacción se basa en transferencia de calor	Propagación de la reacción se basa en transferencia de calor	Propagación de la reacción depende de la onda de choque
Velocidad de reacción varía con la presión atmosférica	Velocidad de reacción varía con la presión atmosférica	Velocidad de reacción independiente de la presión atmosférica
No sufre transición a detonación	Bajo ciertas condiciones puede sufrir transición a detonación	Es poco habitual que sufra transición a deflagración

Tabla N°1

Fuente: "The Chemistry of Explosives", Akhavan J., 2nd Ed.



o combustión, estabilidad química, sensibilidad y poder rompedor.

3.5.1. DENSIDAD

La densidad de una sustancia se define como la masa por unidad de volumen, expresada en g/cm³. La densidad tiene efectos sobre otras características tales como la sensibilidad y el rendimiento del material energético, como por ejemplo un aumento excesivo de la densidad provoca una disminución de la sensibilidad del material, en donde incluso, con un buen detonador podría no detonarlo.

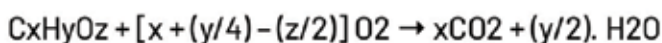
Una expresión útil de densidad es la densidad de carga, que es el de la relación entre el peso del material energético y el volumen de la cavidad

donde esta masa se encuentra o el diámetro de perforación si se trata de una demolición. Esto ayuda a determinar la masa de la sustancia cargada para un diámetro determinado.

3.5.2. BALANCE DE OXÍGENO

Es la medida de la cantidad de oxígeno contenido en una sustancia energética, lo cual permite determinar el exceso o déficit de los átomos de oxígeno que reaccionarán con átomos de carbono, hidrógeno y metales, para formar sus óxidos (CO₂, H₂O y óxidos metálicos), durante el proceso de quema.

El balance de oxígeno se calcula mediante la reacción química (2) que se muestra a continuación:



A partir de la fórmula:

$$OB = \frac{-1600 [2X + (Y/2) - Z]}{PM} (\%)$$

Donde:

X: Número de átomos de carbono C.

Y: Número de átomos de hidrógeno H.

Z: Número de átomos de oxígeno O.

PM: Peso Molecular de la materia energética.



3.5.3. CALOR DE COMBUSTIÓN O DETONACIÓN

El calor de la reacción es la energía que se libera o absorbe cuando las sustancias químicas se transforman en una reacción química. Para los materiales energéticos, es el calor de la reacción (ΔH_r) liberado durante el proceso de descomposición o quema en condiciones adiabáticas, se mide en calorías o julios y también se entiende por la diferencia entre la suma de los calores de formación de los productos de reacción versus el calor de formación del material energético como aparece representado en la siguiente ecuación:

$$\Delta H_r = \sum \Delta H_f^0(\text{productos}) - \sum \Delta H_f^0(\text{materias energéticas})$$

Donde:

ΔH_r : Entalpía de reacción (J/mol).

$\sum \Delta H_f^0$: Entalpía de formación estándar (J/mol)

El calor de reacción es un parámetro esencial para escalar con seguridad y correctamente el proceso químico de una sustancia energética.

3.5.4. TEMPERATURA DE COMBUSTIÓN O DETONACIÓN

Temperatura máxima (T_c) en la cual se calientan los productos de reacción, el calor liberado corresponde al calor de descomposición. El nivel máximo al que se calientan los productos de reacción depende de los calores específicos de

cada producto y su composición molar, el cual se puede obtener a partir de la siguiente fórmula:

$$T_c = \frac{\Delta H_r}{n \sum C_p} + T_{amb}$$

Donde:

ΔH_r : Calor de reacción (J/mol, J/g)

T_c : Temperatura de combustión ($^{\circ}\text{C}$, K)

T_{amb} : Temperatura ambiental (25°C , 298 K)

C_p : Calor específico de los productos de reacción (J/mol K)

n : Número de moles

3.5.5. VELOCIDAD DE COMBUSTIÓN O DETONACIÓN (VOD)

Se define como la velocidad de formación de los productos de descomposición o la velocidad de descomposición. Cada material energético tiene una velocidad de combustión o detonación determinada y está influenciada por su composición química, densidad de las materias energéticas, área de confinamiento, temperatura y presión de combustión, de las que depende el tiempo en que se tarde en descomponerse el material.



La velocidad de combustión se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$V_c = bP^n$$

Donde:

V_c : Velocidad de combustión (mm/s)

b : Coeficiente empírico, depende de la T.

P : Presión de combustión (atm, kPa)

n : Exponente de presión

3.5.6. ESTABILIDAD QUÍMICA

Capacidad que el material explosivo posee para mantenerse químicamente inalterado con el paso del tiempo, por el contrario un compuesto inestable es una sustancia que se descompone con facilidad. La estabilidad química de un material energético es cuando su estructura permanece en equilibrio con su entorno, por lo que depende fuertemente de los factores ambientales en los que se almacena el material durante un tiempo determinado.

3.5.7. PODER ROMPEDOR

Característica del explosivo que determina el efecto de la fragmentación destructiva que posee la carga energética sobre su entorno cercano. El poder rompedor depende del poder del explosivo, velocidad de detonación y el calor liberado.

Los métodos más conocidos para determinar el poder rompedor son el

test de explosión bajo el agua, Test de arena, Plate Denting test (test de placa metálica), método de Hess (Test de compresión de bloque de plomo), entre otros.

3.5.8. SENSIBILIDAD

Probabilidad de iniciación de un material energético por medio de roce, impacto, calor, chispa eléctrica u otros estímulos físicos sin propósito de iniciarlos.

La sensibilidad determina la seguridad y confiabilidad del material en su manipulación, operatividad y almacenamiento. La mayoría de los explosivos tienen una sensibilidad conocida y no cambian significativamente durante su almacenamiento. Pero particular atención causan los explosivos primarios, ya que al tener una elevada sensibilidad a estímulos físicos tales como al impacto, roce y chispa eléctrica, dificulta mantener el control en su manipulación y almacenamiento.

El impacto y el roce son estímulos que se pueden controlar durante la manipulación del material energético, sin embargo la chispa eléctrica es más compleja de manejar, por lo que se deben tomar precauciones más rigurosas para disminuir cualquier probabilidad de generar una chispa, tales como utilizar ropa de algodón, calzados apropiados, pulseras conectadas a red de aterrizaje, entre otras. Además, se debe tener especial cuidado con la humedad relativa del



espacio en el que se manipulará el material, una humedad inferior al 60% facilita la generación de descargas eléctricas.

Si bien, las medidas anteriores disminuyen la probabilidad de generar una chispa eléctrica, la peligrosidad no se elimina completamente, por lo que siempre existe un riesgo permanente al trabajo con materiales energéticos.

3.6. VIDA ÚTIL DE MATERIALES ENERGÉTICOS

De acuerdo a las ideas planteadas por el Teniente 1° de la Armada de Chile, Rodrigo Alviña Sánchez, en el artículo "Desarrollo Tecnológico Institucional de los Propelentes y su Monitoreo de Estabilidad Química" (año 1999), la vida útil corresponde al rango de tiempo que los proveedores de sistemas de armas certifican que sus productos cumplirán con los requerimientos solicitados, tanto en su confiabilidad de impactar y dañar el blanco, como en la seguridad de manipularlos y almacenarlos.

En particular y debido a que "los explosivos en general son mezclas de elementos orgánicos fabricados mediante procesos químicos que alteran su equilibrio natural, estos están expuestos a la descomposición de su estructura molecular a través del tiempo, la que consiste básicamente en devolver a los componentes su estado original y que va acompañada por otra reacción química; a este último proceso se le conoce como

degradación química, la que provoca la inestabilidad de dichos elementos".

De acuerdo a la literatura, los materiales que se ven afectados en mayor proporción por estos fenómenos corresponden a los propelentes homogéneos basados en nitrocelulosa, debido a que liberan gases nitrados durante su almacenamiento, lo que a su vez podría causar la ruptura de enlaces moleculares y la aparición de grietas en el material, teniendo consecuencias negativas en la performance del propelente al momento de su deflagración.

Es por lo anterior, que los fabricantes utilizan estabilizantes tales como la difenilamina, agentes que mitigan el envejecimiento prematuro y las citadas consecuencias.

Asimismo, organizaciones internacionales han creado estándares para que los usuarios monitoreen la estabilidad química de los propelentes con base de nitrocelulosa, siendo la norma más reconocida la STANAG 4582, la cual establece una metodología para utilizar microcalorimetría como técnica de medición de intercambio de calor entre una muestra de propelente y un medio en específico, cuando esta se almacena a temperaturas que provocan su envejecimiento acelerado. En palabras simples, la muestra se somete a temperaturas de almacenamiento superiores a la estándar, forzando la liberación de gases nitrados con la consiguiente liberación de calor; pudiendo ser medidos y contrastados con un patrón de comportamiento.



Por su parte, la degradación de los explosivos primarios y secundarios se estima de menor magnitud en el tiempo, debido en primera instancia a que se encuentran normalmente contenidos en un recipiente aislado del aire ambiental (granadas, cargas de combate, cápsulas iniciadoras, etc.) y, en segundo lugar en el caso de los explosivos moleculares, estos se encuentran en un estado de equilibrio más estable que el de los propelentes con base en nitrocelulosa.

De forma similar a los propelentes, los explosivos secundarios pueden presentar cambios físicos, asociados principalmente al stress térmico y vibracional que los sistemas de armas sufren al ser transportados, permitiendo la aparición de grietas que podrían afectar el performance durante su detonación. Asimismo, y dado que en la manufactura de cargas de grandes magnitudes, como lo son las cargas de profundidad y bombas de aviación, los fabricantes suelen utilizar mezclas físicas de explosivos tales como la Composición B (TNT mezclado con RDX) o Tritonal (TNT mezclado con aluminio), los distintos componentes pueden migrar, moverse y/o aglomerarse a través del tiempo, facilitando la aparición de defectos mecánicos.

Las citadas grietas pueden hacer variar el diámetro crítico de los explosivos allí contenidos, lo que podría generar la interrupción de la transmisión de la onda de choque, detonaciones de segundo orden o detonaciones incompletas, afectando directamente

a la confiabilidad (poder destructivo) del arma.

3.7. EFECTOS DE LAS BOMBAS DE AVIACIÓN

El efecto destructivo de una bomba de aviación se debe principalmente a la detonación del explosivo secundario que transporta. La reacción química que tiene lugar al iniciarse la activación del tren explosivo es la acción fundamental requerida para destruir un objetivo específico.

Por otra parte, generalmente el explosivo que contiene una bomba de aviación puede con su detonación lograr efectos sobre el área del objetivo a destruir, estos son por la acción del explosivo propiamente tal, penetración, fragmentación, formación de cráteres y por efecto incendiario.

3.7.1. EFECTOS DE LA EXPLOSIÓN

El efecto de explosión es causado por las enormes sobrepresiones generadas por la detonación de un explosivo secundario que contiene la bomba de aviación. La detonación completa de estos explosivos puede generar presiones de hasta 700 toneladas por pulgada cuadrada y temperaturas en el rango de 3.000 a 5.000 °C, antes de producirse la fragmentación total del cuerpo de la bomba.

Aproximadamente la mitad de la energía total generada en esta

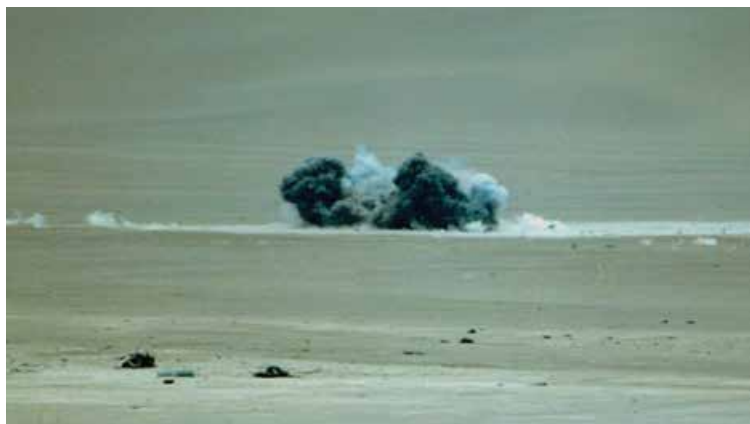
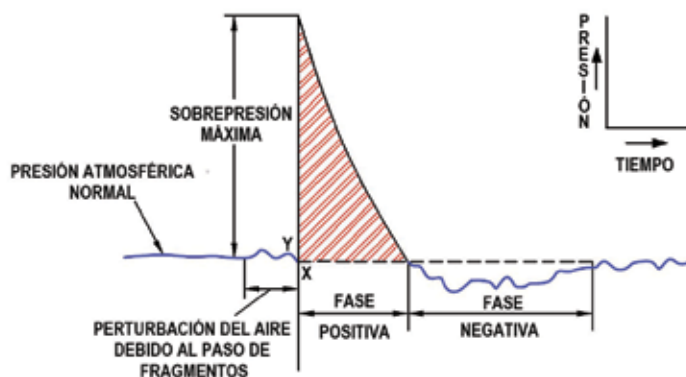


Figura N°3.1
Explosión de una
bomba de aviación
sobre el terreno.

una bomba de 2,000 libras (908 kg), efecto que es reforzado con las esquirlas que acompañan a esta detonación. Véase

la Figura N°3.1, en que se aprecia la detonación de una bomba de aviación sobre el terreno. La onda de choque es una onda de compresión en que la presión aumenta desde la atmosférica hasta un máximo de sobrepresión en una fracción de microsegundo. Esta es seguida por una disminución mucho más lenta (centésimas de segundo) a la presión bajo la atmosférica, para luego regresar a la presión atmosférica normal. Esta parte bajo la presión atmosférica se llama fase negativa o de succión. En la Figura N°3.2 se muestra una curva de presión-tiempo, que describe este efecto.

La onda de choque es una onda de compresión en que la presión aumenta desde la atmosférica hasta un máximo de sobrepresión en una fracción de microsegundo. Esta es seguida por una disminución mucho más lenta (centésimas de segundo) a la presión bajo la atmosférica, para luego regresar a la presión atmosférica normal. Esta parte bajo la presión atmosférica se llama fase negativa o de succión. En la Figura N°3.2 se muestra una curva de presión-tiempo, que describe este efecto.



Para un peso fijo del explosivo, la presión máxima disminuye con la distancia desde la explosión. A una distancia fija de la explosión, la

Figura N°3.2
Onda de choque de
presión v/s tiempo.



presión máxima aumenta a medida que aumenta el peso del explosivo. La cara del objetivo que enfrenta la detonación será sometida a un peak de sobrepresión dos o más veces mayor respecto de la cara que está orientada a 90° con respecto al choque frontal. La sobrepresión en el lado opuesto se denomina presión lateral. La presión frontal es la que causa el mayor daño.

3.7.2. EFECTO DE PENETRACIÓN DE OBJETIVOS ENDURECIDOS

Para este caso, la bomba de aviación está orientado a penetrar objetivos resistentes tales como blindajes, tierra o construcciones de concreto en superficie o subterráneas antes de explotar, destruyéndolos o dañándolos seriamente hasta su inutilización. La penetración del objetivo es una

función de la velocidad del arma, el ángulo de impacto y el ángulo de ataque en el impacto. El ángulo de impacto es el ángulo entre el vector de velocidad del arma y el plano objetivo. La mejor penetración es lograda cuando el ángulo de impacto es de 90° . El ángulo de ataque es el ángulo entre el vector de velocidad del arma y el eje longitudinal del arma. La mejor penetración se logra cuando el ángulo de ataque es de 0° .

Los valores de penetración son expresados en la cantidad de metros verticales y no representan la trayectoria del arma, excepto en el caso de un ángulo de impacto de 90° en la horizontal del objetivo. La Figura N°3.3 ilustra ambos ángulos; el ángulo de impacto y el ángulo de ataque. Además, se visualiza en la Figura N°3.4 el efecto de penetración de un refugio para aeronaves, utilizando una bomba de aviación de guiado láserico del tipo GBU-39, denominada Small Diameter Bomb.

3.7.3. EFECTO DE PENETRACIÓN DE BLINDAJES

En las armas denominadas "de carga hueca", en el explosivo que se encuentra en la carcasa de la munición se deja un espacio o cavidad que posee una forma determinada, como se aprecia esquemáticamente en la Figura N°3.5.

La cavidad hueca hace que los productos gaseosos formados por la explosión se concentren en la



Figura N°3.3
Ángulos de Ataque e Impacto de una bomba
contra el terreno



Figura N°3.4
Penetración de un refugio de
aeronaves con una bomba GBU-39
(Small Diameter Bomb)

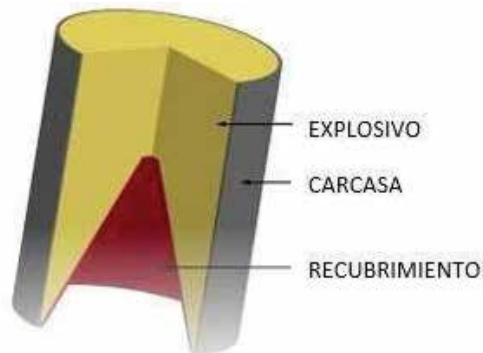
detonación, creando una intensa fuerza localizada en la dirección de la sección hueca. La adición de una camisa, provoca la formación de este "chorro de energía" haciendo más eficaz la penetración de blindajes. Este chorro energético, se desplaza a una velocidad extremadamente alta, y de hecho, empuja el material del blindaje. Existe una distancia ideal entre el arma y la superficie del objetivo para lograr



la máxima potencia que se denomina "distancia de separación".

En el caso de las bombas de aviación, éstas presentan la misma distribución en su interior.

Figura N°3.5
Esquema de una Carga hueca



En ejemplo de la Figura N°3.6, se aprecia el desarrollo hecho por Turquía, donde se presenta una tecnología de perforación con ojivas punzantes sucesivas, a través de una bomba guiada de similares dimensiones que una bomba de propósito general del tipo MK-83, logrando que la bomba al detonar concentre en la cavidad hueca la energía de los gases formados por la explosión, creando una fuerza localizada intensa en la dirección de la sección hueca. La adición de un revestimiento, provoca la formación de

Figura N°3.6
Maqueta de bomba
de aviación con
carga hueca y
ojivas
punzantes SARB
83 fabricada en
Turquía.





un chorro de energía que es muy eficaz para penetrar blindajes. Este flujo de energía se mueve a una alta velocidad, de hecho se abre camino a través del blindaje, perforándolo y siendo reforzado por otras ojivas alineadas longitudinalmente.

3.7.4. EFECTO DE FRAGMENTACIÓN

El tamaño de los fragmentos de una bomba depende del espesor y material del que están fabricadas las paredes del cuerpo de la bomba de aviación, el explosivo que se utilice y la relación entre el peso del explosivo y el peso del cuerpo de la bomba.

En las bombas de aviación el tamaño de los fragmentos no está predeterminado, como bombas de propósito general, los fragmentos varían ampliamente en tamaño y peso. En bombas donde la fragmentación es el efecto deseado, las carcasas de ellas están diseñadas para producir tamaño de fragmento uniforme, calculado para optimizar la efectividad del arma contra objetivos específicos que requieren este efecto para su destrucción.

Los fragmentos producidos por una bomba de aviación pueden alcanzar velocidades de 3.000 pies/seg a 11.000 pies/seg (915 m/s a 3.352 m/s) dependiendo del tipo de bomba (por ejemplo, fragmentos de bomba GP tienen velocidades de 5.000 pies/seg a 9.000 pies/seg (1.524 m/s a 2.743 m/s). La fragmentación es eficaz contra

tropas, vehículos, aviones y otros objetivos sin blindaje.

La fragmentación generada por la detonación de una bomba con explosivo secundario tiene mayor alcance efectivo que la explosión, generalmente hasta aproximadamente 3.000 pies (915 metros) independientemente del tamaño de la bomba. El efecto de fragmentación se puede maximizar usando una bomba específicamente diseñada para este efecto o mediante el uso de una bomba GP con una espoleta que permita activar la detonación de la bomba durante la parte final de su vuelo. La mayoría de los fragmentos se dispersan en forma perpendicular al eje longitudinal de la bomba de aviación.

La dirección en que se proyectan los fragmentos está determinada por la forma del cuerpo de la bomba de aviación, la ubicación de la espoleta, el ángulo de impacto y la velocidad final del arma.

3.7.5. EFECTO DE FORMACIÓN DE CRÁTERES

Con las bombas de aviación lanzadas por aviones, el efecto de formación de cráteres se logra normalmente mediante el uso de una bomba de propósito general con un sistema de espoleta retardada. Esto permite que la bomba de aviación penetre el terreno antes de que ocurra la explosión, logrando la formación de un cráter.

Este efecto es más deseable en la interdicción de rutas de suministro y



Figura N°3.7
Cráter producido por una bomba de aviación

operaciones de denegación de área. También encuentra aplicación en ataques a edificios de varios pisos. En lugar de hacer funcionar la bomba instantáneamente al impactar con el techo de un edificio, la espoleta retardada permitirá que la bomba penetre y utilice el confinamiento de las paredes del edificio para aumentar el efecto destructivo que produce la bomba de aviación.

En la Figura N°3.7 se aprecia la formación de un cráter por la utilización de una bomba de aviación.

Para este caso, se debe tener cuidado al emplear bombas de propósito general contra objetivos endurecidos, si el ángulo de impacto de la bomba es inferior a 40° respecto a la horizontal, lo más probable es que ésta rebotará si la velocidad es demasiado grande, se deflagrará durante su activación (quemado rápido).

Ambos factores son interdependientes, se requieren combinaciones exactas (ángulo/velocidad), debiendo considerarse estos parámetros al momento de planificar el uso de bombas de aviación para producir cráteres.

3.7.6. EFECTO INCENDIARIO

El fuego es eficaz para interrumpir las operaciones de tropas y dañar pertrechos almacenados. Este efecto fue empleado profusamente durante la Segunda Guerra Mundial, causando enormes pérdidas humanas y materiales en las ciudades especialmente, poseyendo las bombas de aviación que causaban estos incendios, poca capacidad de penetración.

Hoy las bombas de aviación poseen capacidades de fragmentación y



penetración junto con dispositivos incendiarios reactivos. Estos mejoraron el efecto incendiario contra almacenamiento de combustible y

otros objetivos inflamables, véase la Figura N°3.8, se aprecia el efecto incendiario sobre el terreno.



Figura N°3.8
Efectos de una bomba incendiaria de napalm



4. ESPOLETAS

En este capítulo, se aborda la importancia de la espoleta como elemento clave que permite la activación del explosivo de una bomba de aviación, desde la conceptualización del “tren explosivo”, para luego continuar con la espoleta, describiendo sus métodos de armado y de funcionamiento.

4.1. TREN EXPLOSIVO

Se entiende por “tren explosivo” en una bomba de aviación, a una secuencia de explosiones iniciadas con una reducida cantidad de explosivos altamente sensibles, ubicados en el mecanismo de activación de la bomba, que se denomina “espoleta”, cuya energía producida una vez activada, es dirigida y amplificada hacia el explosivo principal, menos sensible, y que está ubicado en el cuerpo de la bomba.

El tipo de explosivo utilizado para llenar el cuerpo de las bombas debe ser relativamente insensible a los golpes y a las variaciones de temperatura, proporcionando así un grado razonable de seguridad en su manipulación, transporte y almacenamiento, con lo que se podría asegurar una vida útil que supere las dos décadas.

Además, la carcasa del cuerpo de la bomba presta la protección necesaria al explosivo que lleva en su interior,

logrando con esto la penetración en un blanco resistente antes de explotar en su interior, como sería una placa de blindaje o una infraestructura de hormigón reforzado.

Por otra parte, el tipo de explosivo utilizado en las espoletas que inicia el tren explosivo, debe ser muy sensible, de modo que explote tan pronto se inicie su activación de acuerdo a su diseño.

Este explosivo debe ser manipulado en cantidades mínimas, por lo tanto se confina en una cápsula metálica llamada detonador que se encuentra integrada en la espoleta. La explosión del detonador, no tiene la fuerza suficiente por sí sola para activar el explosivo principal que lleva el cuerpo de la bomba.

Por esta razón junto a la espoleta se coloca una pequeña cantidad de explosivo más sensible, en un elemento denominado booster (amplificador), el cual es lo suficientemente sensible para que el impacto de la explosión iniciada en la espoleta tenga la potencia suficiente para lograr activar (detonar) la carga explosiva principal, ubicada en el cuerpo de la bomba. Esta disposición de elementos; espoleta (detonador) + booster (amplificador) + carga principal de la bomba (explosivo), constituye el tren explosivo.



En el caso de una bomba de aviación de propósito general, utilizada como ejemplo, la secuencia del tren explosivo comienza con la activación de las espoletas de nariz y de cola, pudiendo su secuencia de acción ser instantánea o retardada, dependiendo del ingreso a esta cadena de un elemento denominado delay (retardo), que efectúa la función de retardar en un tiempo mínimo (milisegundos) la activación del tren explosivo para conseguir penetrar un objetivo específico y producir todo el efecto destructivo en el interior del blanco.

En la Figura N°4.1, se aprecia cómo es el tren explosivo en una bomba de

aviación del tipo de propósito general.

En la secuencia instantánea (sin retardo), se inicia el tren explosivo inmediatamente después de la activación de la espoleta de la bomba, produciendo que la carga principal explote, véase la Figura N°4.2.

Si la intención es que un tren explosivo de acción retardada cumpla una acción con un pequeño retardo, como por ejemplo penetrar un blanco para que el efecto de la detonación se produzca en su interior, el elemento de retardo o delay, se colocará entre el detonador ubicado en la espoleta y la booster, demorando la activación de la

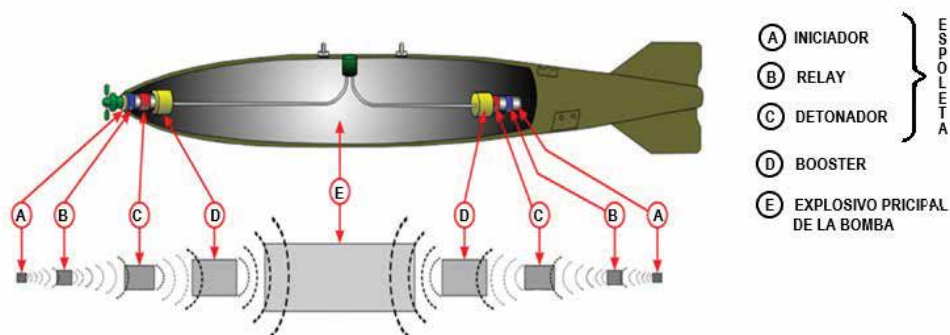


Figura N°4.1
Tren explosivo de una bomba de aviación

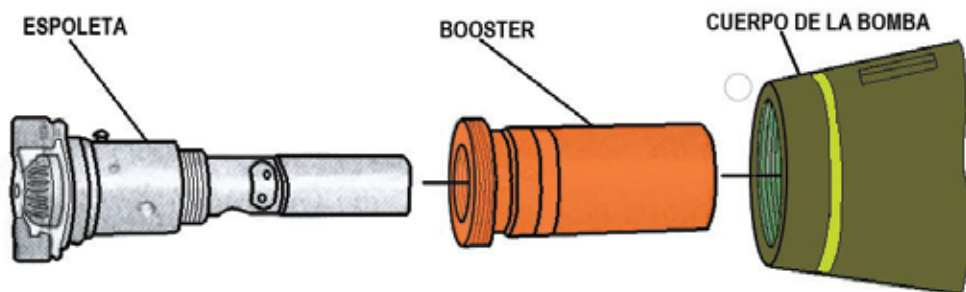


Figura N°4.2
Tren explosivo de acción instantánea de una bomba de aviación



carga principal del explosivo, ubicada en el cuerpo de la bomba de aviación, apreciado en el esquema de la Figura N°4.3.

razón es imperativo que se instale la espoleta adecuada en la bomba. Esta selección, entre los varios tipos de espoletas existentes, puede cambiar

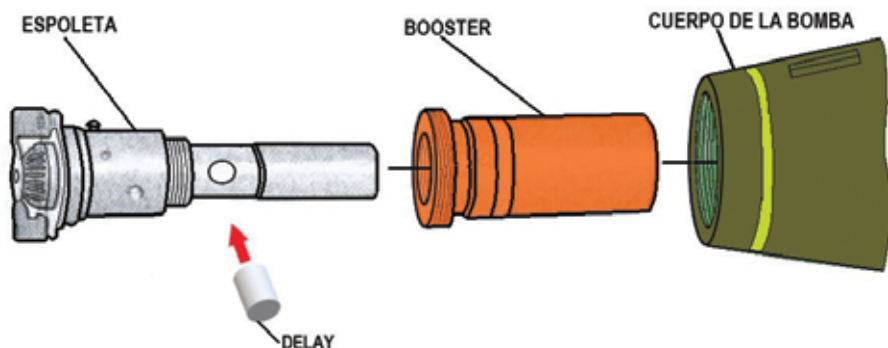


Figura N°4.3

Tren explosivo de acción retardada de una bomba de aviación

4.2. DESCRIPCIÓN DE LA ESPOLETA

Se denomina espoleta al dispositivo utilizado en una bomba de aviación con el que se inicia la detonación en un momento predeterminado y bajo condiciones deseadas. Dado que los objetivos o blancos se determinan normalmente antes de llevar a cabo una misión por parte de una o más aeronaves, es imprescindible analizar la estructura y características para asegurar su destrucción. Esto define el tipo de espoleta a usar para lograr el resultado esperado, por esta

drásticamente el efecto que esta bomba de aviación tendría en el blanco.

En este caso, las tripulaciones aéreas y el personal de armamento deben conocer tanto las características como el funcionamiento de las espoletas, y de esta forma, se seleccione la más adecuada para producir el efecto que se desea sobre el blanco al detonar la bomba, garantizando además un escape seguro de la aeronave que la lanza.

En la Figura N°4.4, se visualizan ejemplos de espoletas, tipo mecánica



Figura N°4.4

Espoleta mecánica y espoleta electrónica

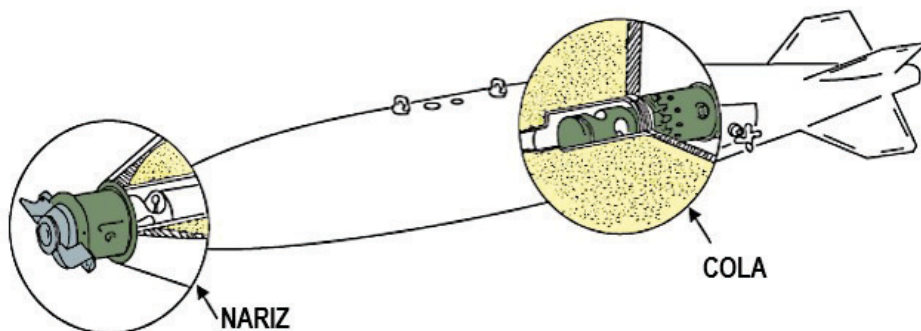


Figura N°4.5
Ubicación de espoletas en una bomba de aviación

(izquierda) y tipo electrónica (derecha), utilizadas hoy en diversas configuraciones de bombas de aviación.

4.3. UBICACIÓN DE LAS ESPOLETAS

Las espoletas para bombas de aviación están ubicadas generalmente en la nariz, en la cola o en ambas posiciones simultáneamente, lo que se muestra en la ilustración de la Figura N°4.5.

La distinción entre las espoletas de ojiva o nariz y de cola es importante, debido a las diferencias en la sensibilidad al impacto y al efecto direccional de la energía de la explosión y los fragmentos del cuerpo de la bomba. La espoleta de ojiva (usada en bombas de aviación, cohetes y proyectiles), es frecuentemente una espoleta que funciona al impactar. La espoleta de cola puede ser una espoleta de inercia, la que es iniciada por la desaceleración de la bomba antes del impacto.

Una espoleta correctamente seleccionada puede ser lo suficientemente sensible como para iniciarse por impacto en un blanco de construcción ligera.

Como se ha mencionado, la ubicación de la espoleta afecta a la dirección en la que se proyecta la energía de la detonación de la bomba y sus fragmentos. Una espoleta de ojiva al activarse, tiende a direccionar la energía de la explosión y los fragmentos que produce el cuerpo de la bomba lejos de ésta, como se aprecia esquemáticamente en la Figura N°4.6 (nariz), mientras que una espoleta de cola tiende a concentrar la energía de la bomba cerca del blanco, como se observa en la Figura N°4.6 (cola). También, si se utilizan espoletas de nariz y cola simultáneamente, tienden a compartir los efectos de los casos anteriores respecto a la proyección de la energía de la detonación y los fragmentos, lo que se identifica en la Figura N°4.6 (cola + nariz).

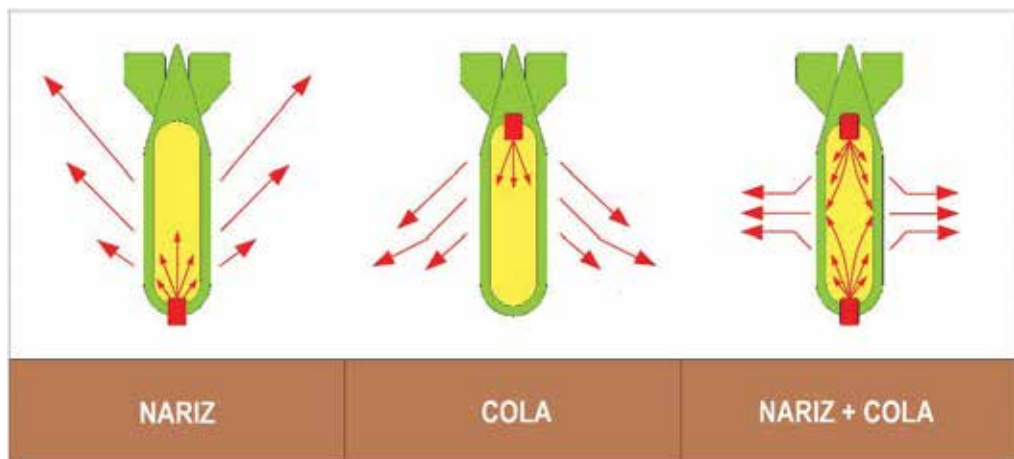


Figura N° 4.6
Efectos de la bomba según ubicación de espoletas

A modo de ejemplo, si el objetivo de una bomba de aviación fuese tropas desplazándose en terreno abierto, se buscaría un efecto de fragmentación máximo (que produzca el mayor daño posible), por lo que es aconsejable instalar la espoleta en la nariz de la bomba, lo que resultaría en una mayor proyección de los fragmentos o esquirlas a nivel de la superficie del terreno donde están ubicadas las tropas.

La adición de una espoleta de cola a la de nariz ya instalada, podría ser apropiada en una situación particular, por ejemplo si se desea aumentar la confiabilidad de la detonación de la bomba en general.

4.4. MÉTODOS DE ARMADO

Las espoletas comienzan su proceso de armado, entendiéndose por armado el lograr acciones mecánicas y/o electrónicas que dejen a la espoleta

en condición de activarse y transferir dicha energía inicial al explosivo principal en el cuerpo de la bomba produciendo su detonación.

A continuación se describen los métodos de armado más comunes para las espoletas:

4.4.1. POR VELETA

El armado por veleta considera un mecanismo que posee una pequeña hélice, la que al liberarse comienza a girar por la acción del flujo de aire de impacto que recibe la bomba, a partir de su separación de la aeronave para seguir la trayectoria que la hace impactar el objetivo. Cuando la hélice completa la cantidad de giros establecidos, la espoleta está armada y lista para hacer detonar de la bomba.

Un ejemplo de este caso es la espoleta mecánica denominada M-905 de origen norteamericano, la que inicia



su armado por el accionamiento de la veleta, ilustrada en la Figura N°4.7.

4.4.2. POR PIN

El pasador de armado es expulsado o retirado por acción de un resorte cuando se separa la bomba desde la aeronave, permitiendo que el mecanismo de armado funcione dejando a la espoleta en condiciones de activarse a partir de ese momento.

4.4.3. POR INERCIA

El armado por inercia se debe al cambio brusco en la velocidad de la bomba cuando se separa de la aeronave, a través del despliegue de aletas o inflado de un paracaídas que porta la bomba, esta acción reduce su velocidad en el aire (frenándola) y al mismo tiempo produce el armado de la espoleta.

Este dispositivo de inercia que porta

la espoleta de la bomba, a causa de la brusca variación de velocidad señalada, monta una aguja percutora o la libera para que pueda actuar según su diseño, produciendo la activación del tren explosivo de la bomba.

4.4.4. ELÉCTRICO

Este método de armado inicia su funcionamiento cuando la bomba de aviación es lanzada desde la aeronave, permitiendo al cable de armado activar un iniciador del cual se abre una cubierta que permite recibir el flujo de aire con una velocidad superior a 250 nudos (460 km/hr), logrando que el alternador de una pequeña turbina produzca la energía eléctrica suficiente para iniciar el funcionamiento de la batería térmica que posee la espoleta en su interior hasta que se encuentre lista para activarse. Esto que se presenta esquemáticamente en la Figura N°4.8, donde el cable de armado activa este generador que alimenta la o las espoletas que se utilicen.

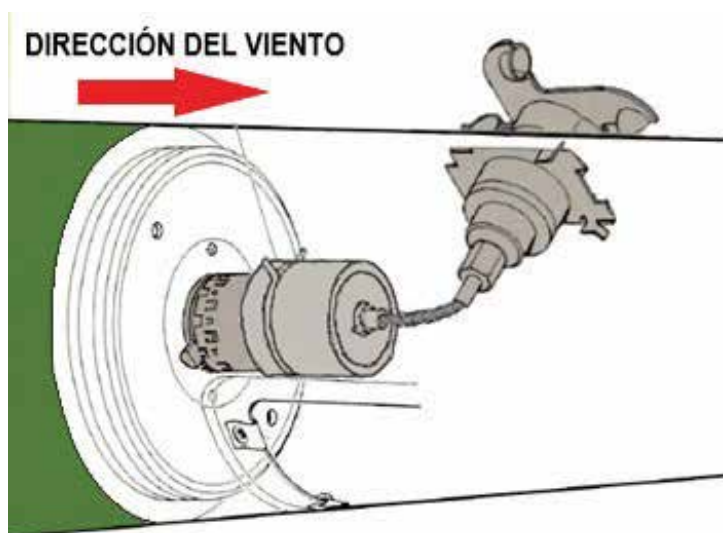


Figura N°4.7
Espoleta M-905
accionada por una
veleta

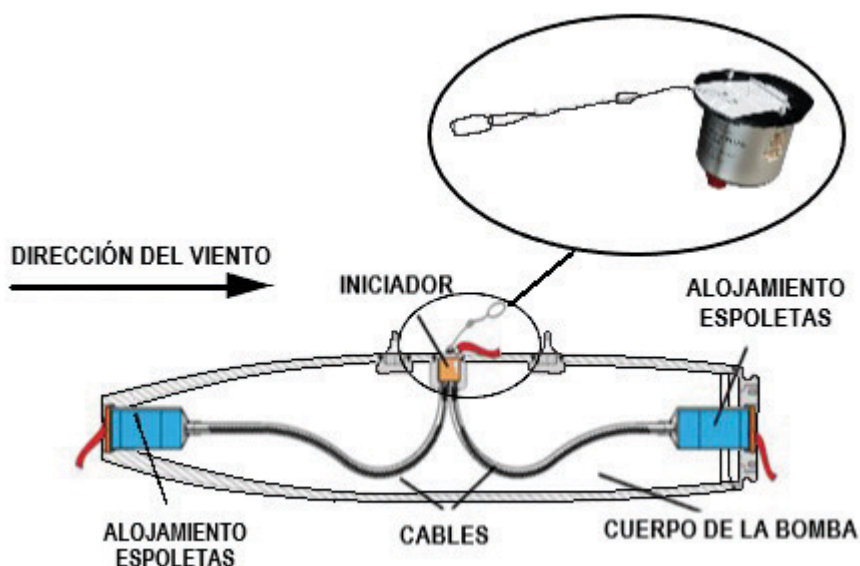


Figura N° 4.8
Método de iniciación eléctrica de espoletas electrónicas

4.5. MÉTODOS DE FUNCIONAMIENTO

Una vez armada la espoleta (encontrarse lista para su activación), esta funciona por uno de los siguientes métodos que se indican a continuación:

4.5.1. IMPACTO O RETARDO

Este tipo de espoleta está diseñada para funcionar en forma instantánea, o con un retardo programado, cuando la bomba de aviación que la utiliza impacta el blanco. El tiempo de retardo (si lo hay) se mide a partir del momento del impacto.

Como ejemplo, la espoleta de nariz denominada M 904 de origen norteamericano, diseñada para ser

usada con todo tipo de bombas de propósito general (GP) principalmente.

Una vez lanzada desde la aeronave, la presión del aire hace girar las paletas de activación, requiriendo una velocidad mínima aproximada de 150 nudos (278 km/hr) para el armado.

Esta espoleta es graduable respecto del tiempo de armado que sea requerido, contando con varios intervalos de tiempo (2, 4, 6, 8, 12 o 20 milisegundos).

En el impacto al blanco, el elemento de retardo proporciona un tiempo de retardo (milisegundo) en la activación del tren explosivo de la bomba. Es importante precisar que el elemento de retardo es opcional y dependerá del efecto a lograr en el objetivo a batir.



En la Figura N°4.9, se aprecia la ilustración de una espoleta de nariz del tipo M 904, sin retardo (delay).

4.5.2. PROXIMIDAD

El método de funcionamiento denominado por proximidad para una espoleta es llevado cabo con la incorporación de un sensor de proximidad, que no es una espoleta en sí. Este permite ser utilizados principalmente en bombas de propósito general. Utiliza un radar Doppler FMCW (frecuencia modulada, onda continua) que mide la distancia a la superficie y activa la espoleta para la detonación a una altura preestablecida sobre el suelo, generalmente entre 6 a 10 metros del suelo. Cuando el sensor detecta que la bomba ha alcanzado una altura preestablecida, envía una señal eléctrica para activar la espoleta de la bomba.

Figura N° 4.9
Espoleta de nariz M 904



Además, este sensor solo puede ser utilizado con espoletas electrónicas que tengan la capacidad de recibir la señal desde el sensor cuando la bomba alcance la altura fijada para su activación.

En la Figura N°4.10, observamos a modo de ejemplo, el sensor de proximidad DSU-33, de origen norteamericano.

Además en la Figura N°4.11, podemos apreciar la ubicación del sensor de proximidad respecto del tren explosivo en una bomba con sistema de guiado, que veremos en detalla más adelante, de propósito general configurada con una espoleta electrónica.

El sensor está diseñado para operar en entornos con contramedidas electrónicas y la duración de operación tiene que ver con la batería que lo alimenta, variando entre 90 a 200 segundos de funcionamiento, dependiendo del modelo del sensor y el tipo de batería utilizada en su interior.

4.5.3. TIEMPO

En una espoleta de tiempo, se programa el tiempo que debe transcurrir entre el lanzamiento de la bomba y el momento que se tiene

Figura N° 4.10
Sensor de proximidad DSU-33



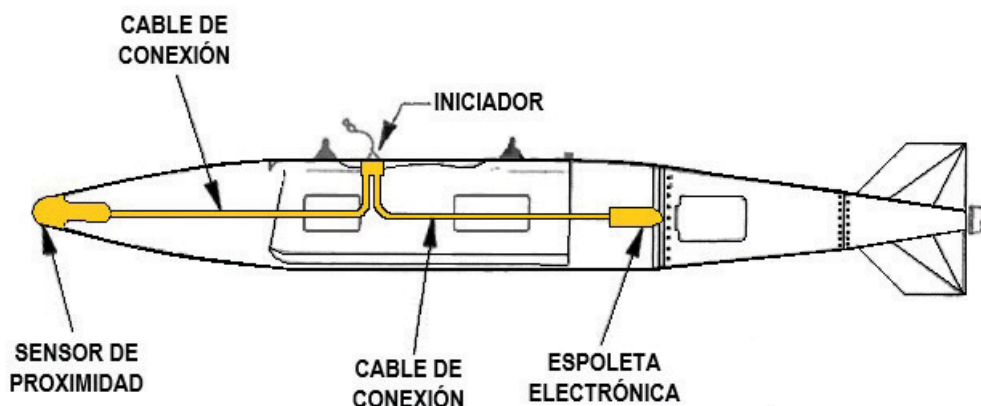


Figura N°4.11

Ubicación de sensor de proximidad y espoleta en una bomba de aviación

planificado la activación de la espoleta, y no en el instante del impacto de ésta. El elemento de tiempo es obtenido por un dispositivo mecánico o eléctrico. Un ejemplo son las espoletas que utilizan las bombas del tipo cluster, las cuales inician su funcionamiento por tiempo, momento en el cual el cuerpo de la bomba se abre en tres o cuatro partes longitudinalmente, por el uso de un cordón detonante, permitiendo el despliegue de los bomblet o minas que transporta en el aire hacia el objetivo. Véase la Figura N°4.12, que muestra una espoleta fabricada en nuestro país por Industrias Cardoen para las bombas cluster o racimo.

4.5.4. HIDROSTÁTICA

Este tipo de espoleta se emplea en bombas de profundidad para los trabajos de demolición. La espoleta funciona según el principio de un fuelle o diafragma que se expande con un aumento en la presión del agua a medida que la bomba se hunde en ella para contrarrestar la fuerza ejercida por un resorte. Cuando se supera la fuerza del resorte, el percutor de disparo se libera y se impulsa contra el detonador mediante la acción del resorte.



Figura N° 4.12

Espoleta electrónica de tiempo



Los métodos de funcionamiento de las espoletas descritos están representados en la ilustración de la

Figura N°4.13, donde se muestra un resumen esquemático de la activación de ellas.

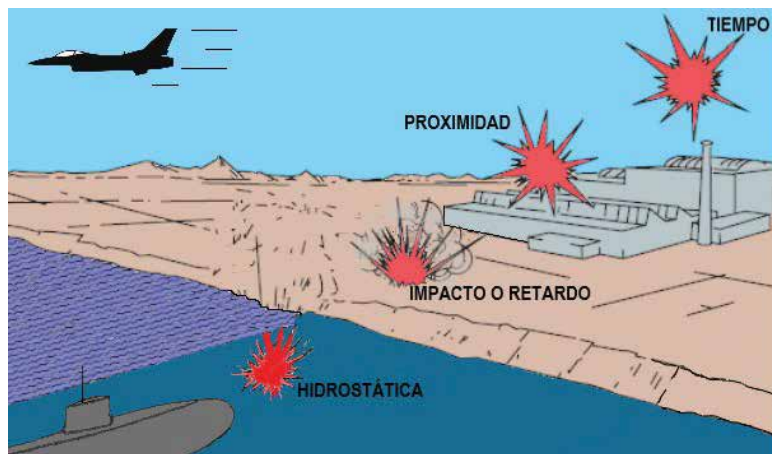


Figura N°4.13
Ilustración de los
métodos de fun-
cionamiento de las
espoletas



5. ESTABILIZADORES

En este capítulo se aborda la definición del estabilizador, la función que desempeña y las descripciones que se hallan en la literatura técnica referida a su uso en las bombas de aviación.

5.1. DESCRIPCIÓN GENERAL

Un estabilizador es un componente que se une al cuerpo de la bomba de aviación y su propósito, como dice su nombre, es estabilizar y mantener la trayectoria balística de la bomba que se lanza desde una aeronave hasta su impacto en el blanco.

Se han desarrollado diversos tipos de estabilizadores, desde las primeras bombas de aviación hasta nuestros días, pero siempre buscando que la trayectoria de la bomba en su vuelo sea predecible y con la menor desviación posible para que impacte en el blanco.

5.2. ESTABILIZADORES CON ALETAS FIJAS

Las primeras bombas de aviación fueron adaptaciones de proyectiles de artillería que se lanzaban desde primitivas aeronaves. Para mejorar la estabilidad durante el vuelo y mejorar su precisión al impactar el objetivo, se instalaron aletas de diversas formas en aquellos proyectiles, así nacen los estabilizadores para ser usados en las bombas de aviación. Por lo general, el estabilizador está conformado por un cono alargado con cuatro aletas montadas a su alrededor en forma de cruz. Esta estructura se instaló en la parte posterior de la carcasa de la bomba, como representa la ilustración de un tipo de estabilizador adosado al cuerpo de una bomba de aviación del tipo MK, Figura N°5.1, lo que se mantiene en uso al momento de esta publicación.

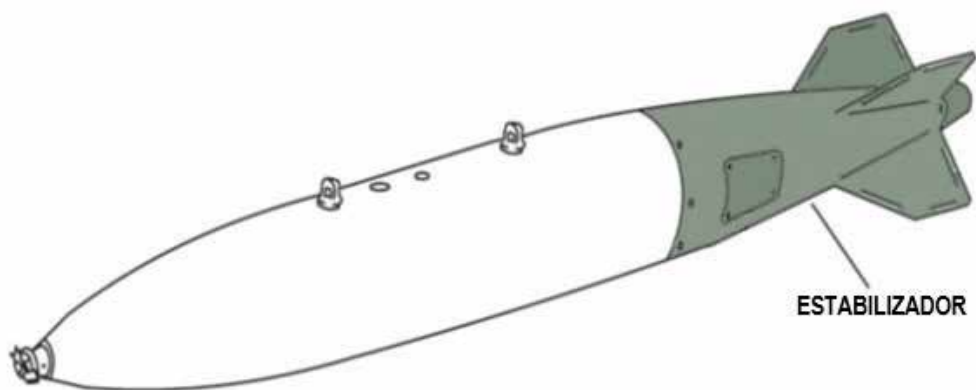


Figura N°5.1
Estabilizador de aletas cruciforme para una bomba del tipo MK



5.3. ESTABILIZADORES CON PARTES MÓVILES

Con el paso del tiempo y el desarrollo de las tácticas aéreas de ataque y bombardeo a muy baja altura, comienza la búsqueda de cómo llegar a impactar con la mayor precisión posible, objetivos con bombas de aviación lanzadas a cotas muy bajas.

De ese requerimiento operacional se desarrollan los primeros estabilizadores con partes móviles, los que una vez lanzada la bomba se despliegan, permitiendo reducir bruscamente su velocidad, "frenándola" prácticamente a muy baja altura para que se dirija casi perpendicularmente al blanco seleccionado, ubicado bajo ella a muy pocos metros de altura.

También se desarrolla otra variante con el mismo propósito, permitiendo que el estabilizador despliegue un paracaídas o infle un globo, cualquiera de estos dos tipos de estabilizadores (paracaídas y globos), son llevados en el interior de la bomba, logrando el efecto de reducir la velocidad de la

bomba de aviación sobre su objetivo y alcanzar el blanco.

En la Figura N°5.2 se grafica un estabilizador de aletas plegables tipo MK-15 de origen norteamericano, para uso en bombas del tipo MK, el que se aprecia con sus aletas plegadas a la izquierda, las que están aseguradas por una banda metálica que se desprende al momento de la separación de la bomba desde la aeronave, lo que permite el despliegue de las aletas, quedando éstas como se aprecia a la derecha de la misma figura.

Por otra parte, en la ilustración de la Figura N°5.3 se puede apreciar el globo inflado alojado en el estabilizador de una bomba de aviación, este fue un desarrollo alternativo del estabilizador de aletas plegables.

De este modo, el trabajo técnico por mejorar el estabilizador de las bombas de aviación continuó sin detenerse; al comenzar el uso de las primeras bombas guiadas por láser, a fines de los años sesenta, frecuentemente en los cuerpos de las bombas se les instalaba un sistema que captaba la energía reflejada del blanco, que era "iluminado" o "marcado" por este láser, procesando la señal, a través de servomecanismo,

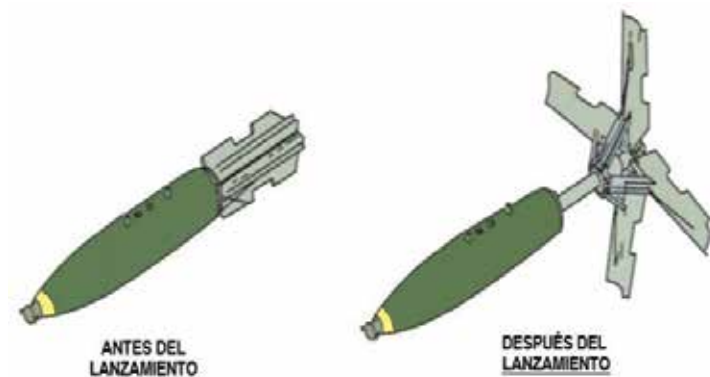


Figura N°5.2
Estabilizador tipo MK-15,
usado en bombas del tipo
MK



Figura N°5.3
Lustración de un
estabilizador con el
globo inflado

permitiendo a este sistema de control efectuar correcciones en la trayectoria bomba a blanco, lo que se logró a través de aletas móviles que fueron ubicadas en el sector delantero de la bomba, logrando no sólo estabilizar su trayectoria durante el vuelo, sino que además, corregirla, mejorando su precisión al impactar el objetivo, otorgándole con esto un mayor alcance respecto de una bomba no guiada. En la Figura N°5.4, se aprecia la ubicación de las aletas móviles delanteras y aletas traseras desplegadas en una bom-

ba con un sistema de guiado láserico.

Igualmente, se modificó el diseño del estabilizador de aletas fijas en uso por un nuevo diseño, en el cual estas aletas estaban plegadas durante el vuelo junto a la aeronave que lo transporta, lo que logra disminuir la envergadura de la bomba con equipamiento láserico, permitiendo facilitar su instalación en la aeronave.

Esta modificación adicional hoy es usada en casi la totalidad de los kit



Figura N°5.4
Estabilizador de aleta desplegable y aletas
móviles de un kit de guiado láserico en una
bomba de aviación



de guiado láserico en el mundo, como se muestra en la Figura N°5.5.

El avance tecnológico en el área no se detuvo y como una forma de mejorar algunas limitaciones que mostraba el guiado de bombas por láser, se desarrolló e implementó un nuevo sistema de guiado, que utiliza el sistema de posicionamiento global a través de satélites (conocido coloquialmente como GPS), lo que trajo consigo que físicamente se suprimieran tanto las aletas móviles en la nariz de la bomba, como las aletas desplegables de la cola.

En su reemplazo se utilizan aletas móviles solamente en el estabilizador trasero, que cumplen la función de corregir la trayectoria de las bombas de aviación guiadas por GPS hacia el blanco. Un ejemplo de este sistema de guiado de bombas se muestra en la ilustración de la Figura N°5.6.

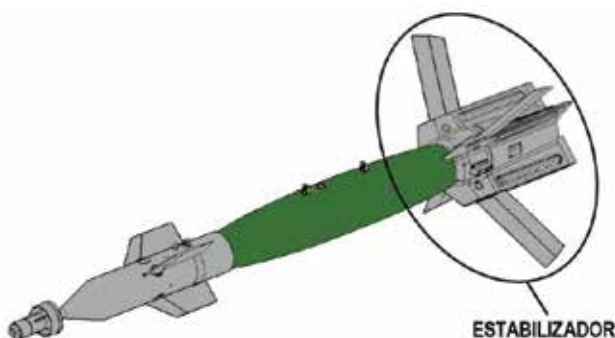


Figura N°5.5
Estabilizador trasero de aletas plegables de una bomba con kit de guiado laserico

5.4. ALAS DESPLEGABLES

A raíz de los avances en el ámbito de la defensa antiaérea, se continuó buscando que el lanzamiento de las bombas de aviación fuera realizado lejos de su alcance, manteniendo como objetivo aumentar la supervivencia de las tripulaciones aéreas y sus aeronaves. Es por ello, que para lograr un mayor alcance manteniendo la precisión, aparece una nueva variante en el ámbito de los estabilizadores, el que consiste en agregar alas desplegables adosadas al cuerpo de la bomba a través de una

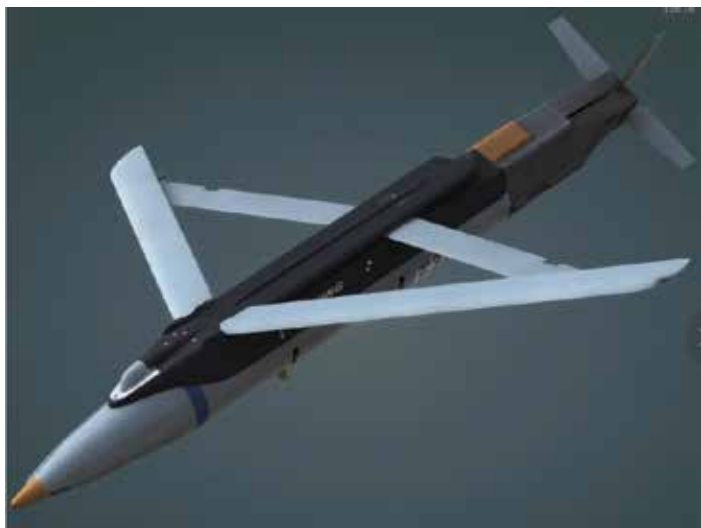
estructura que las aloja, posibilitándole una vez separada de la aeronave que la transporta, el despliegue de estas alas comportándose

Figura N°5.6
Aletas móviles de un estabilizador de una bomba de aviación de guiado por GPS



Figura N°5.7
Representación artística de una Bomba de Aviación GBU-39

como un planeador durante su trayectoria al blanco, con lo que logra un alcance sustancialmente mayor, respecto de sus similares de guiado láserico y/o GPS.



La Figura N°5.7 permite observar lo señalado respecto de las alas plegables, representando artísticamente la bomba de aviación con sus alas desplegadas GBU-39/B, denominada SDB (Small Diameter Bomb) que aún se encuentra en uso en la Fuerza Aérea de los Estados Unidos.

Cabe destacar que este desarrollo utiliza el cuerpo de una bomba de aviación del tipo MK (de propósito general) o BLU (de penetración).

Seguidamente, en la Figura N°5.8 se muestra la evolución del alcance de las

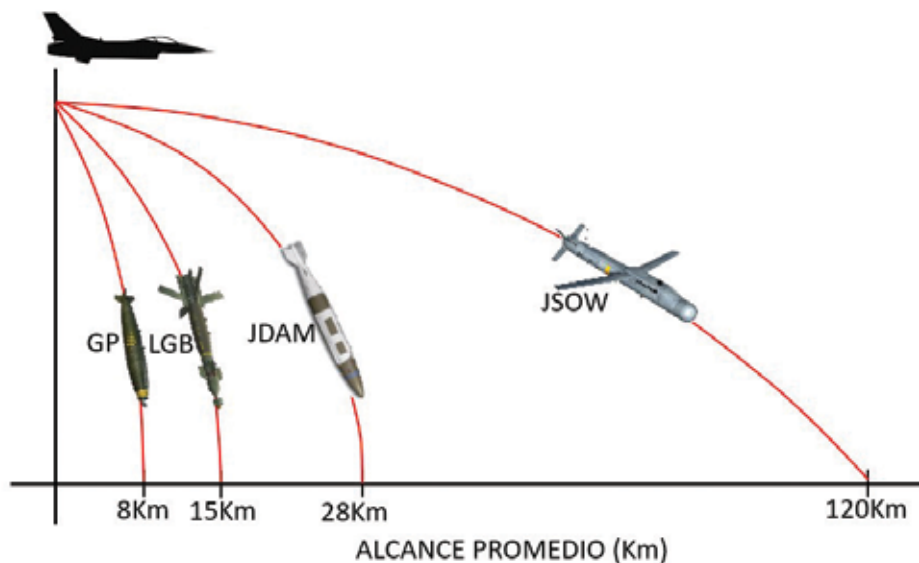


Figura N°5.8
Evolución del alcance de las bombas con diferentes sistemas de guiado, estabilizadores y alas desplegadas.



bombas de aviación al desarrollarse sistemas de guiado (láser, GPS, otros), usados en conjunto con las aletas fijas, móviles y alas desplegables.

Es importante señalar, que la tendencia de utilizar alas que se despliegan desde la estructura adosada al cuerpo de la bomba de aviación va en aumento, permitiendo con ello incrementar significativamente el alcance con el uso de bombas guiadas.

Al momento de esta publicación, es imposible proyectar el desarrollo de un

nuevo sistema de alas o combinación de aletas y alas para ser integradas a los cuerpos de las bombas, con la finalidad de potenciar su alcance y precisión.

Por otra parte algunos de estos sistemas de guiado de bombas han agregado sistemas de propulsión, lo que de acuerdo a lo establecido en el libro "Armamento Aéreo" de quien escribe, deberían ser catalogadas de misiles y no como bombas de aviación. Esta tendencia dependerá del avance del ingenio humano a través de la tecnología que esté disponible.



6. GANCHOS DE SUSPENSIÓN

En este acápite, se explica la importancia de los ganchos de suspensión que actúan como interface entre el cuerpo de la bomba de aviación y el porta bombas (Bomb Rack), ubicado en las estaciones externas de la aeronave (fuselaje y/o alas) y en el que serán transportadas las bombas para luego ser lanzadas, como sucede con las aeronaves F-15, F-16, F-18 o A-10.

Se debe precisar que las bombas de aviación, como fue indicado en los antecedentes históricos desarrollados al inicio de este libro, eran lanzadas desde las aeronaves en forma manual, facilitado por su pequeño tamaño y bajo peso. No obstante, conforme al aumento de esas características fue requerido el desarrollo de diversos sistemas de suspensión a las aeronaves que las transportaban para su lanzamiento.

Cuando se comenzó con el uso de ganchos de suspensión, considerando que cada bomba utilizaba uno o dos de ellos, de acuerdo a su diseño, no se consideró estandarizar la necesaria separación que debe existir entre dos ganchos, ni tampoco la determinación de la capacidad de carga que fuera posible soportar por cada uno de ellos.

La diversidad de modelos de ganchos de suspensión, se extendió desde la Primera Guerra Mundial (1914-1918) hasta la caída del Muro de Berlín en 1989, hito histórico que marcó el fin del periodo denominado "Guerra Fría" caracterizado por el enfrentamiento de los bloques liderados por Estados Unidos y la Unión Soviética, que tuvo como principal consecuencia la desintegración de esta última potencia mundial.

Al comenzar la década de los años 90, lentamente se fue desarrollando una estandarización a nivel mundial orientada por los lineamientos utilizados por Estados Unidos y sus aliados, Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN), en que las bombas de aviación con pesos inferiores a 1.000 libras (454 kg), utilizaban dos ganchos de suspensión encontrándose separados entre sí por 14 pulgadas (35,56 cm) y aquellas bombas con pesos superiores a 1.000 libras tendrían en sus ganchos una separación de 30 pulgadas (76,2 cm). Esta forma de estandarizar la instalación de la bomba de aviación en los bomb rack o puntos diseñados para esto y ser transportadas en las aeronaves, fue denominada coloquialmente como "Separación OTAN".

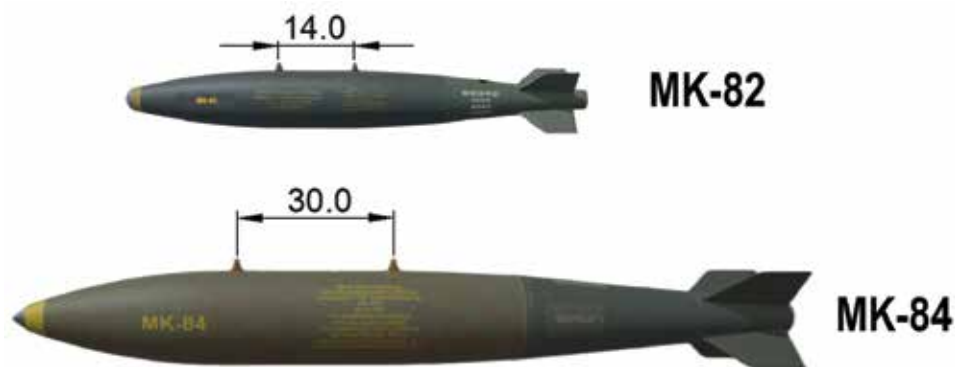


Figura N°6.1

Separación OTAN de los ganchos de suspensión para bombas de aviación de acuerdo con su peso

En este sentido, en la ilustración de la Figura N°6.1, se observa la comparación de ganchos de suspensión separados a 14 y 30 pulgadas; al respecto es necesario indicar que en ambos casos, el centro de gravedad de la bomba de aviación se encuentra ubicado entre los ganchos de suspensión.

Existen algunas excepciones de acuerdo a diseños específicos para la función que deben cumplir los ganchos de suspensión. Un ejemplo es la bomba de práctica BDU-33 de origen norteamericano, que por su peso y dimensiones utiliza sólo uno.

Los ganchos de suspensión son fabricados principalmente en acero, ya que no sólo deben soportar el peso de la bomba, sino que además varias veces su peso, al recibir la aplicación de fuerzas G, tanto positivas como negativas durante la operación de la aeronave.

En la Figura N°6.2 y la Figura N°6.3, se aprecian dos tipos de ganchos de suspensión que son utilizados en bombas de aviación de propósito general del tipo MK-82 de 500 lbs y de práctica tipo BDU-33 de 25 lbs. Además en la Figura N°6.4 y en la Figura N°6.5,



Figura N°6.2
Gancho de suspensión utilizado en bomba de aviación MK-82



Figura N°6.3
Gancho de suspensión utilizado por la bomba BDU-33



se muestra la ubicación de estos ganchos en cada una de estas bombas.

La estandarización en la separación de los ganchos de suspensión en las bombas de aviación, ha permitido que éstas puedan ser instaladas en diversos agrupadores de bombas que utilizan

las aeronaves de combate de diverso origen (norteamericano, francés, inglés, entre las más importantes), al poseer compatibilidad con las separaciones entre ganchos, aunque dependiendo de las dimensiones y el peso de la bomba a usar.



Figura N°6.4

Ganchos de suspensión separados a 14 pulgadas en una bomba de aviación del tipo MK-82



Figura N°6.5

Gancho de suspensión utilizado en una Bomba de Práctica BDU-33





7. OTROS COMPONENTES

En este capítulo se describen aquellos componentes que son utilizados en el armado de una bomba de aviación, para que pueda ser manipulada en forma segura en tierra, durante el vuelo hasta su lanzamiento y una vez en vuelo en dirección al blanco. Algunos de estos componentes apoyarán la secuencia de pasos que permiten a la bomba quedar en condiciones de activarse, sea por impacto directo o por proximidad al blanco.

Existe una diversidad de componentes, que cumplen funciones tanto para la configuración específica como para diversas configuraciones de distintos tipos de bombas.

Para desarrollar este capítulo, se seleccionó a modo de ejemplo, la bomba de propósito general MK-82 de origen norteamericano, la cual por su amplio uso a nivel mundial resulta representativa para caracterizar los componentes que participan en su armado, describiendo la función que cumple cada uno de ellos, tanto para la seguridad (armado, transporte y lanzamiento) como para su activación (funcionamiento), según sea en cada caso.

La bomba de aviación MK-82, considera en su armado los siguientes los componentes que lo posibilitan:

1. Cuerpo de la bomba (Capítulo 2)
2. Espoleta (Capítulo 4)
3. Estabilizador (Capítulo 5)
4. Gancho de suspensión (Capítulo 6)
5. Alambre de armar
6. Clip de seguridad
7. Swivel and link (destorcedor)
8. Veleta
9. Booster
10. Delay
11. Ferrule
12. Governed Coupler (acoplador o copla)
13. Eje Flexible
14. Cotter Pin (Chaveta)

7.1. ALAMBRE DE ARMAR

Es un alambre acerado que se utiliza para asegurar las espoletas dispuestas en la bomba de aviación, evitando su activación mientras la bomba está instalada en la aeronave (en tierra y durante el vuelo) hasta que se separa de ella. El alambre se afianza a la aeronave y al momento de producirse el lanzamiento, se desliza permitiendo que las espoletas y/o sus mecanismos de activación inicien el funcionamiento, según sea la configuración que se adopte en la bomba.

Este alambre se muestra en la Figura N°7.1 y en la Figura N°7.2 se observa su ubicación en la bomba, asegurando la espoleta ubicada en su nariz para que no inicie la activación.



7.2. CLIP DE SEGURIDAD

Se utiliza para retener el alambre de armado que pasa por la espoleta, manteniéndola asegurada (sin activarse) mientras la bomba de aviación está armada e instalada en la aeronave. Al lanzarse la bomba desde la aeronave, el alambre se desliza y libera el clip, permitiendo que la

Figura N°7.1
Alambre de armar de bomba MK-82



Figura N°7.2
Alambre asegurando la espoleta de nariz de la bomba

espoleta inicie su proceso de armado (quedando en condición de activar la bomba) cuando impacte el blanco.

En la Figura N°7.3, se aprecia la ubicación del clip de seguridad tipo FZU-18, de origen norteamericano, reteniendo el alambre de armado para asegurar que no se active la espoleta de nariz tipo M 904 en una bomba de propósito general del tipo MK-82.

7.3. SWIVEL AND LINK (Destorcedor)

Conocido coloquialmente como "destorcedor", este elemento es un eslabón giratorio de doble bucle, que proporciona el enlace mecánico entre el alambre de armado de la espoleta y el agrupador de bombas,

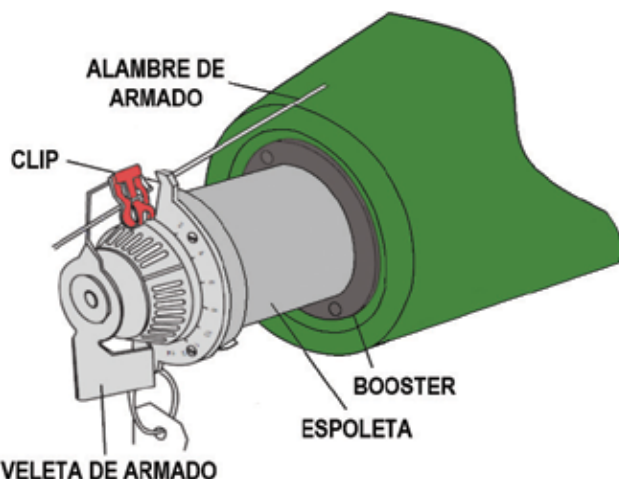


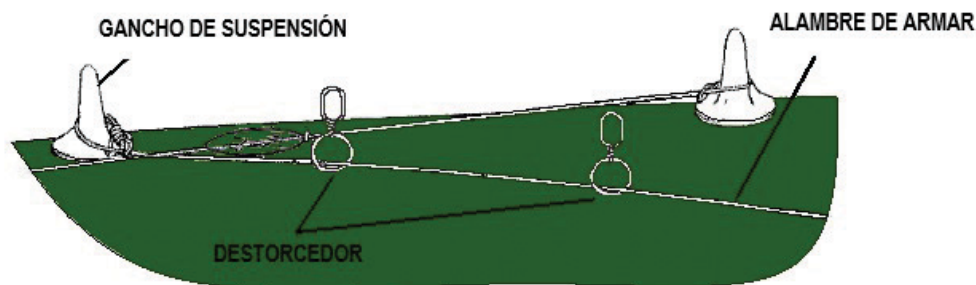
Figura N°7.3
Clip de seguridad tipo FZU-18 en una espoleta de nariz



mientras están instaladas en la aeronave. Al producirse la separación de la bomba desde la aeronave, el swivel and link o destorcedor tira el alambre que asegura la o las espoleta(s), de acuerdo a la cantidad que utilice, activando su mecanismo de armado permitiendo que las espoletas comiencen su proceso de activación cuando impacten el blanco.

En la Figura N°7.4 se aprecia la ubicación de un swivel and link como elemento que iniciará el armado de espoletas.

Figura N°7.4
Swivel and link (destorcedor)



7.4. VELETA

Molinete denominado “veleta” que sobresale por un costado del cuerpo de la bomba de aviación tipo MK-82, como se observa en la Figura N°7.5. Al deslizarse el alambre y desprenderse el clip, cuando la bomba se separa de la aeronave, inicia su movimiento el molinete por el aire de impacto que recibe durante su vuelo, el que hace girar un eje flexible, que traspasa el giro a la espoleta alojada en la parte posterior de la bomba armándola y dejándola lista para su activación.



Figura N°7.5
Veleta en una bomba de propósito general MK-82



7.5. BOOSTER

Es una estructura que alberga una carga explosiva cuyo objetivo es de intervenir entre la espoleta y el explosivo del cuerpo de la bomba, amplificando la energía de activación de la espoleta, para llegar al cuerpo de la bomba y activar de esta forma la carga principal que transporta.

El booster en un casquillo metálico

cilíndrico que en su interior posee una carga explosiva. La carcasa tiene roscas externas para su instalación en el cuerpo de la bomba y roscas internas para alojar la espoleta. El cuerpo del booster consta de un revestimiento donde se asienta en forma hermética una carga de explosivo, generalmente Tetril, de acuerdo a su diseño.

En la Figura N°7.6 se aprecia la vista en corte del booster de nariz (izquierda) y

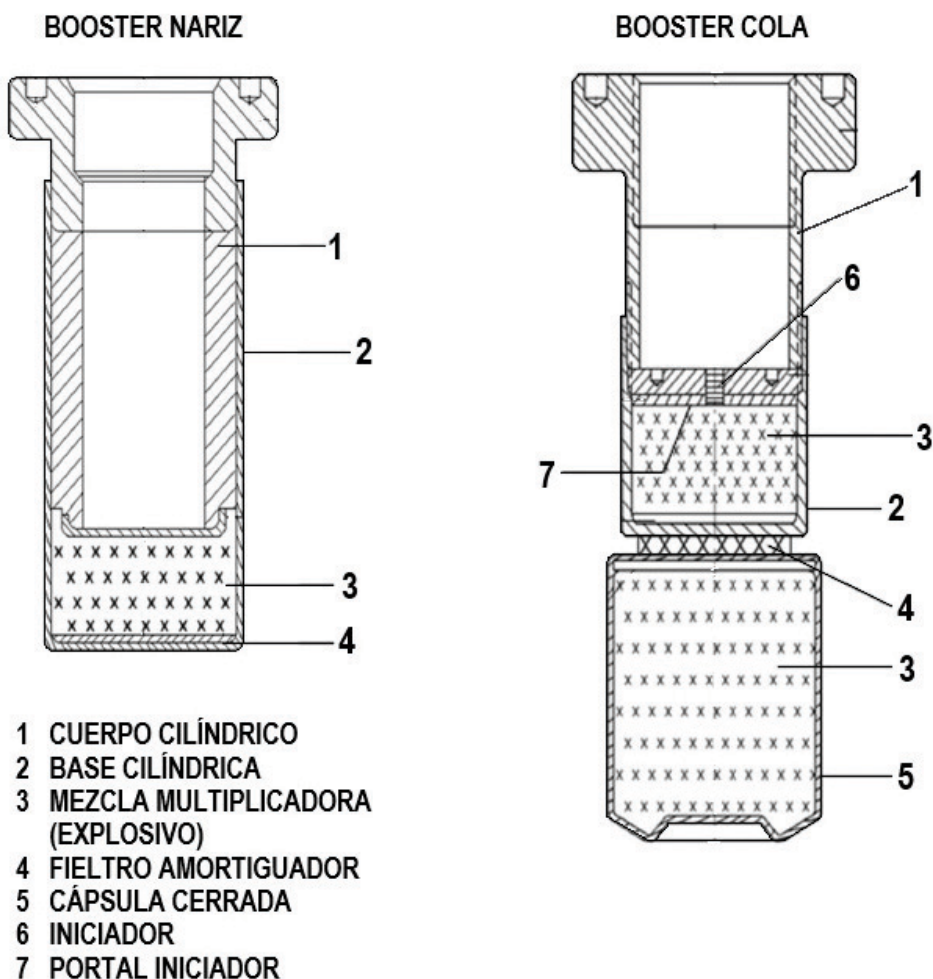


Figura N°7.6

Booster de nariz y booster de cola de una bomba MK 82



de cola (derecha), la función que cumplen es idéntica pero su diseño varía en que la booster de nariz cuenta con un multiplicador (una mezcla explosiva) y el booster de cola tiene dos multiplicadores (dos mezclas explosivas separadas).

En la Figura N°7.7 se aprecian las fotografías, una booster de nariz (izquierda) y una booster de cola (derecha), apreciando en la Figura N°7.8, la ubicación de la booster de cola en el tren explosivo de una bomba de propósito general.



Figura N°7.7
Booster de nariz (izquierda) y booster de cola (derecha)

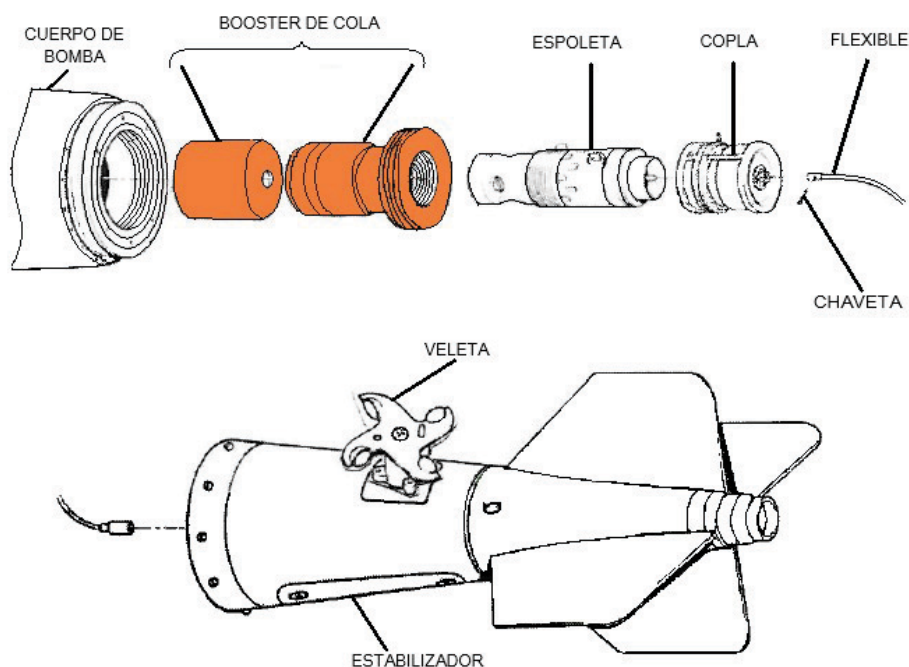


Figura N°7.8
Ubicación del booster de cola en el tren explosivo de la MK-82



7.6. DELAY

Es un elemento diseñado para retardar la activación del tren explosivo de la bomba de aviación. En la Figura N°7.9, se muestra a dos de ellos. El delay posee varias graduaciones de retardo que van en el rango de los mili segundos.

Figura N°7.9
Delay que se utiliza en una espoleta
M 904 o M905



En la Figura N°7.10 se observa la ubicación de un delay en una espoleta como parte del tren explosivo de una bomba de aviación.

Este retardo en el tren explosivo permite lograr efectos específicos cuando la bomba llega al blanco, como por ejemplo que penetre la superficie del

objetivo ingresando en su interior, iniciándose la explosión dentro de la bomba, logrando un mayor efecto destructivo sobre el blanco, como lo es la penetración en un refugio de hormigón, esquematizado en la Figura N°7.11.

7.7. FERRULE

Este elemento es un tubo corto hecho de acero rizado, utilizado para asegurar el alambre de armado a través del conjunto giratorio y de enlace proporcionando un medio para la fijación rápida del alambre de armado a un objeto deseado. En la Figura N°7.12 se observa un alambre de armar en un gancho de suspensión.

7.8. GOVERNED COUPLER (Copla)

El Governed Couple, denominado "acoplador" o "copla", es un dispositivo que contiene un regulador accionado por resorte, que reduce la entrada de altas revoluciones por minuto (rpm) producido por el giro de la veleta y que recibe el aire de impacto durante el vuelo de la bomba al blanco.

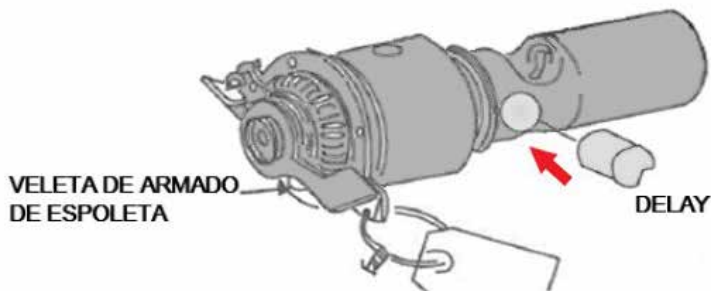


Figura N°7.10
Ubicación de un delay
en una espoleta



Figura N°7.11

Retardo por delay en la activación del tren explosivo de la bomba de aviación.

Esta reducción deja a 1.800 ± 100 revoluciones por minutos, para que el torque producido arme esta espoleta en particular.

La copla se fija a la espoleta, en este caso tipo M 905, en la cola del cuerpo de la bomba con una abrazadera de conexión rápida, accionada por resorte

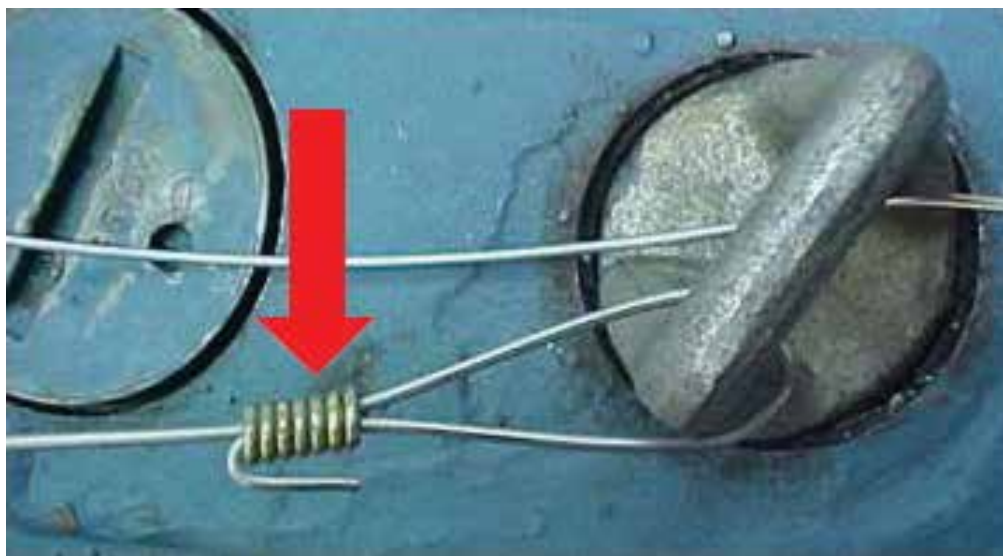


Figura N°7.12

Ferrule aplicado al alambre de armar.

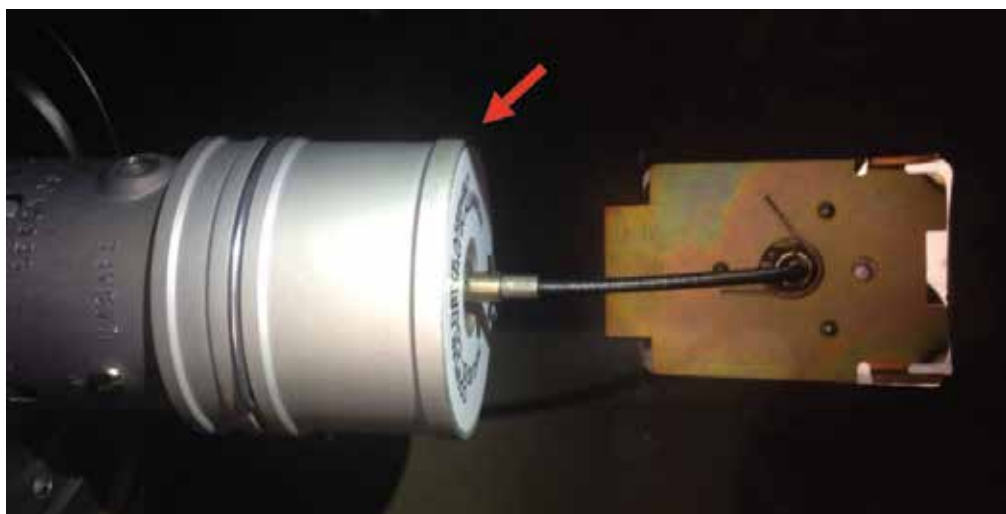


Figura N°7.13
Governed Coupler (copla)

y transmite el torque a la espoleta de cola, lo que se muestra en la Figura N°7.13.

transmitiendo el par de su giro. En la Figura N°7.14, se observa el dibujo que indica la ubicación de este eje flexible. La Figura N°7.15 muestra una fotografía del eje flexible.

7.9. EJE FLEXIBLE

El eje de transmisión flexible es un cable trenzado que proporciona una conexión entre la veleta y la copla,

7.10. CHAVETA (Cotter Pin)

En la Figura N°7.16, se observa el pin antes de su colocación entre el

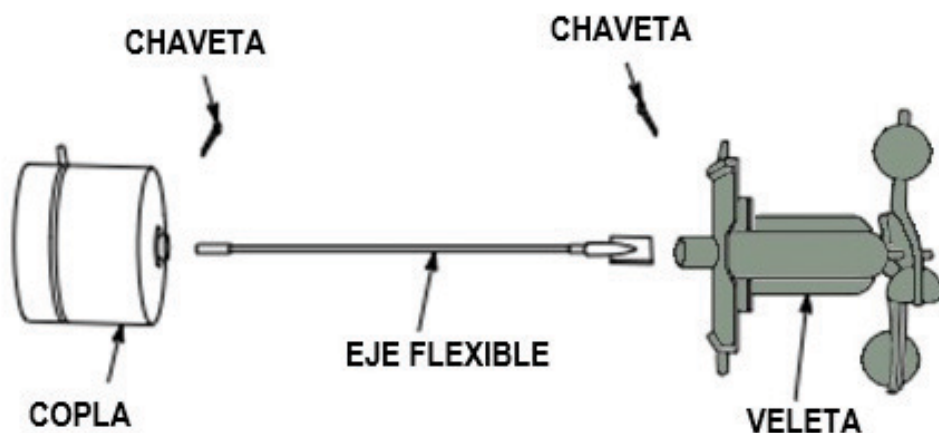


Figura N°7.14
Ubicación del Eje flexible



Figura N°7.15
Eje Flexible

acoplador y el eje flexible. La chaveta mantiene la unión entre el Acoplador y la Veleta, logrando transmitir el giro

de la veleta por efecto del viento de impacto hacia la espoleta, una vez que la bomba se separa de la aeronave.



Figura N°7.16
Chaveta (cotter pin)



Los componentes descritos son de ellos en una bomba de aviación de propósito general del tipo MK-82. presentados en la Figura N°7.17, en que se evidencia la ubicación de cada uno

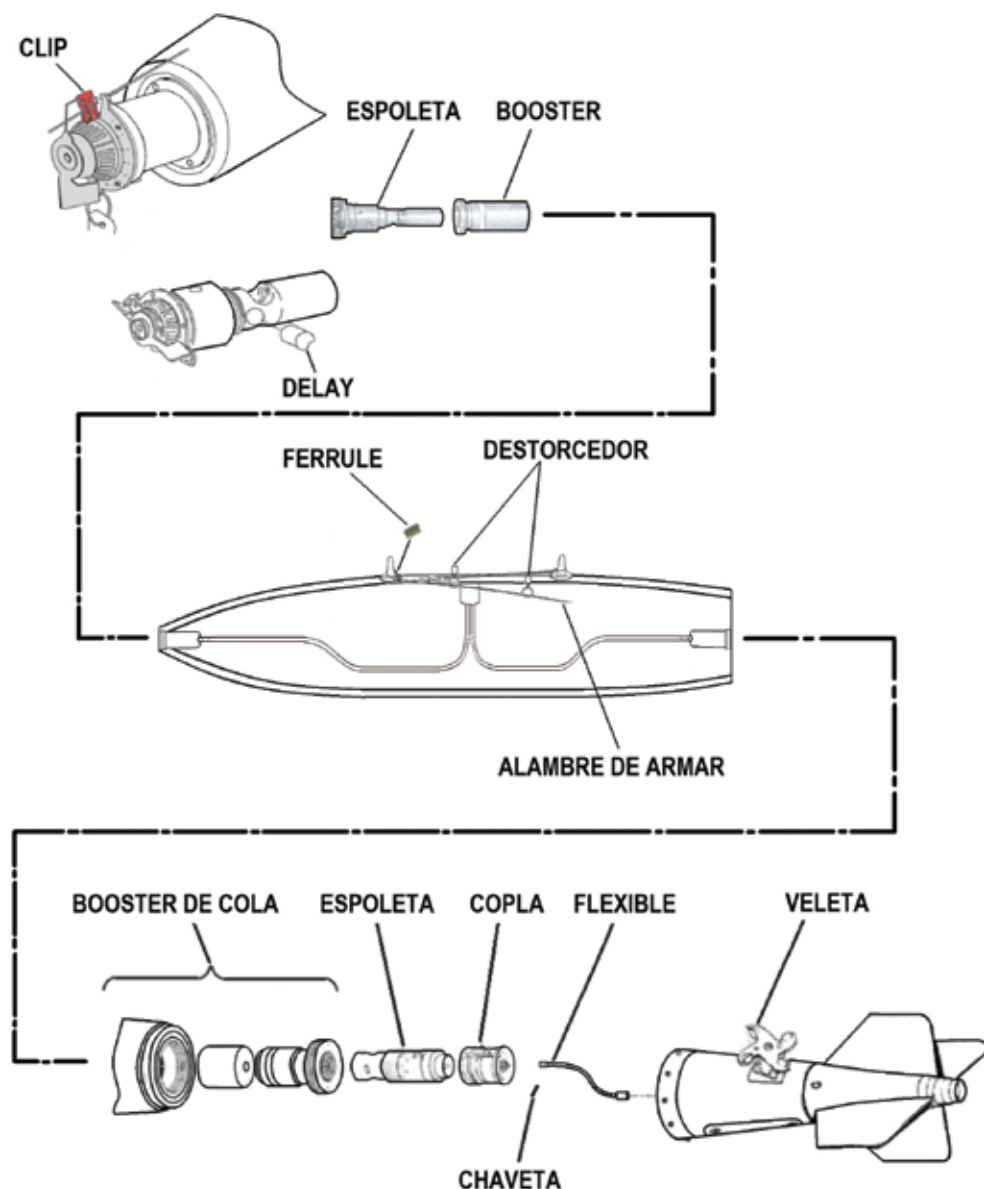


Figura N°7.17
Ubicación de componentes en una bomba de aviación tipo MK-82



8.TIPOS DE BOMBAS DE AVIACIÓN EN USO

En los capítulos anteriores, se han descrito los componentes de una bomba de aviación y la función que cumplen cada uno de ellos, desde que se instala la bomba en la aeronave hasta su desprendimiento para impactar en el blanco.

Este capítulo presenta los tipos de bomba que actualmente existen y son utilizadas, a la fecha de esta publicación, considerando los criterios de función para la que fue diseñada la bomba de aviación y los sistemas de guiado que permiten que llegue al blanco con la mayor precisión.

8.1 DE ACUERDO A LA FUNCIÓN QUE CUMPLEN

De acuerdo al criterio de para qué función fue únicamente diseñado el cuerpo de la bomba, sin considerar las configuraciones de armado y formas de guiado al blanco que pueden estar asociadas, se distinguen las siguientes bombas (cuerpos):

8.1.1 DE PROPÓSITO GENERAL (GP)

La bomba denominada “de Propósito General” (General Purpose), que como su denominación lo indica, es una bomba cuya concepción de diseño pretende ser un “compromiso simultáneo” que busca causar

efectos en el blanco por la explosión originada, la penetración de ella y los fragmentos (esquirlas) de su cuerpo proyectadas sobre el blanco, en una sola acción, sobre la infraestructura, concentraciones de tropas y vehículos sin blindaje.

Para tales efectos, estas bombas utilizan una carcasa de metal de paredes gruesas que contiene el explosivo que transporta, actualmente son usados el TNT, la composición B o el Tritonal, explosivos que constituyen el 30% al 40% del peso total de este tipo de bomba.

Estas bombas de propósito general habitualmente son identificadas por su peso, un ejemplo de esto son las de origen norteamericano, la bomba tipo MK-81 de 250 lbs (114 kg), MK-82 de 500 lbs (227 kg), la bomba MK-83 de 1.000 lbs (454 kg) y la MK-84 de 2.000 lbs (908 kg), las cuales se aprecian en la Figura N°8.1.

En muchos casos, este peso es estrictamente nominal (es la contraparte del calibre de un arma de fuego o una munición) ya que el peso real de cada arma individual puede variar según los componentes que la configuran. Por ejemplo, el peso real de una bomba MK-82 de fabricación norteamericana, nominalmente pesa 500 lbs (227 kg), pero suele pesar alrededor de 560 lbs (254 kg) con todos

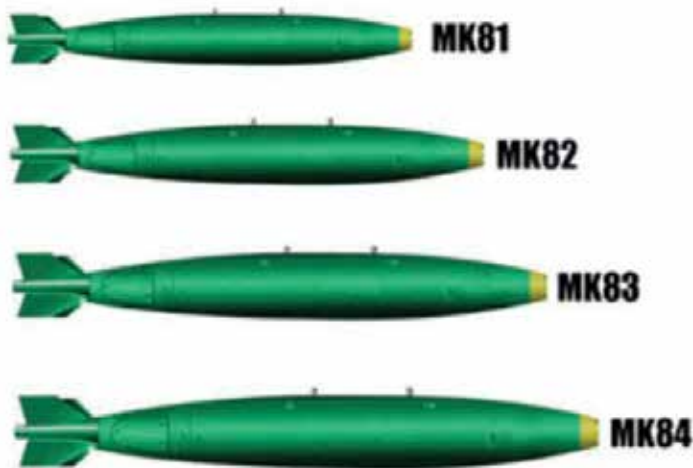


Figura N°8.1
Familia de bombas
del tipo MK

Las bombas de propósito general también se utilizan como ojivas para añadirle diversos tipos de sistemas de guiado, lo que las convierte de una

sus componentes instalados que la dejan lista para su uso.

La mayoría de las bombas GP han sufrido modificaciones en su forma, haciéndolas más aerodinámicas para minimizar la resistencia cuando es transportada en forma externa por las aeronaves (bajo las alas y/o fuselaje).

En los ataques a baja altura, existe el riesgo de que el avión atacante quede atrapado en la explosión de sus propias armas. Para abordar este problema, las bombas GP a menudo están equipadas con retardadores, paracaídas o aletas emergentes que ralentizan el descenso de la bomba para permitir que la aeronave tenga tiempo de escapar de la detonación.

bomba de propósito general de caída libre con trayectoria balística que no puede ser variada una vez lanzada, denominada "tonta", en una bomba con capacidad de guiado denominada "inteligente", que permite efectuar a través del sistema de guiado que utilice, la corrección de su trayectoria, mejorando sustancialmente la precisión para impactar el blanco.

Un ejemplo por señalar es el sistema de guiado láserico de origen norteamericano denominado Paveway, que se muestra en la ilustración de la Figura N°8.2. La combinación de una bomba de propósito general con un sistema de guiado, resulta ser más barata que un misil guiado y sustancialmente más preciso que una bomba no guiada.



Figura N°8.2
Cuerpo de bomba de aviación tipo MK-82 con kit de guiado láserico Paveway II instalado



8.1.2. DE PENETRACIÓN

Este tipo de bomba es destinada, como su nombre lo indica, a destruir refugios o edificios de hormigón, pistas de aterrizajes, puestos de mando, sitios de almacenamiento de armas y otros tipos de infraestructura de similares características, logrando por su capacidad de penetrar y explotar en su interior, un colapso generalizado de la infraestructura atacada.

Habitualmente el cuerpo de esta bomba de penetración tiene una carcasa de acero diseñada con una forma especial y con un mayor espesor en sus paredes que una bomba de propósito general, permitiendo cumplir con su cometido. Esta arma puede penetrar referencialmente entre 1,2 a 1,8 m de hormigón, en forma intacta y sin detonar, activándose una vez que está dentro del objetivo, mediante el funcionamiento de una espoleta programada para tal cometido.

Como ejemplo de este tipo de bomba de penetración, la bomba de origen norteamericano denominada BLU 109 (Bomb Live Unit) que se visualiza en la Figura N°8.3.

Esta bomba, al igual que las bombas de propósito general, puede utilizar diversos sistemas de guiado para corregir la trayectoria en su vuelo al blanco, mejorando la precisión con que lo impacta.

Cabe consignar, que la capacidad de penetración va en aumento dependiendo del peso de la bomba, la forma y materiales utilizados en su cuerpo, lo que permite sobrepasar más de seis metros de espesor de hormigón.

8.1.3. INCENDIARIAS

Las bombas incendiarias son dispositivos diseñados para iniciar fuego y/o destruir objetivos

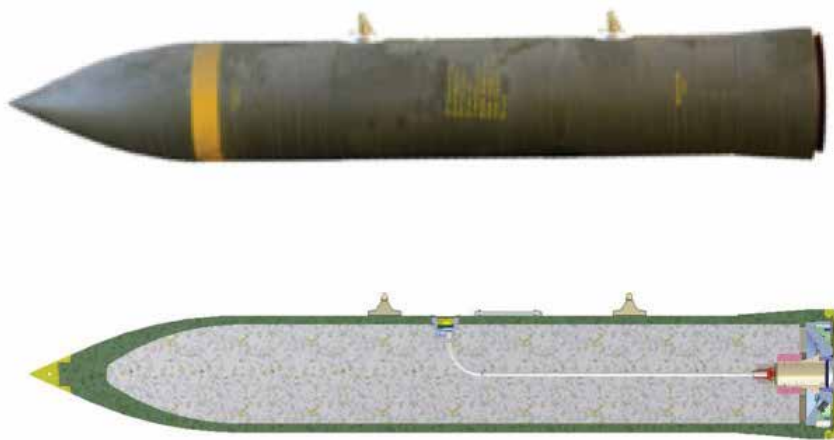


Figura N°8.3
Bomba de aviación de penetración BLU 109



sensibles de inflamarse, usando materiales incendiarios tales como el polímero de metacrilato de isobutilo, napalm (gasolina gelatinosa), fósforo blanco o derivados gelatinosos del petróleo, que son altamente inflamables.

Hoy en día este tipo de bombas de aviación prácticamente están en desuso, ya que su lanzamiento debía efectuarse a baja altitud y sobre el blanco, exponiendo a las tripulaciones y aeronaves al alcance de la artillería antiaérea que lo protegía.

8.1.4. DE FRAGMENTACIÓN

Son aquellas bombas de aviación que poseen la capacidad de producir una mayor cantidad de fragmentos en comparación a una bomba de propósito general de iguales dimensiones, forma

y peso. El cuerpo de esta bomba tiene un acabado superficial que favorece la formación de fragmentos o trozos.

El origen del diseño de esta bomba fue principalmente el ataque a concentraciones de tropas y de paso, la destrucción de vehículos y edificaciones sin ningún tipo de protección o blindaje. Actualmente es una bomba en desuso y no se fabrica, por la misma razón que las bombas incendiarias.

8.1.5. RACIMO (CLUSTER)

Esta bomba de aviación denominada "de racimo" (cluster), es de caída libre y se lanza desde una aeronave. Posee una espoleta que permite una vez activada, que su cuerpo se abra en tres o más partes y libere un gran número de pequeñas bombas, como se aprecia en el esquema de la Figura N°8.4.

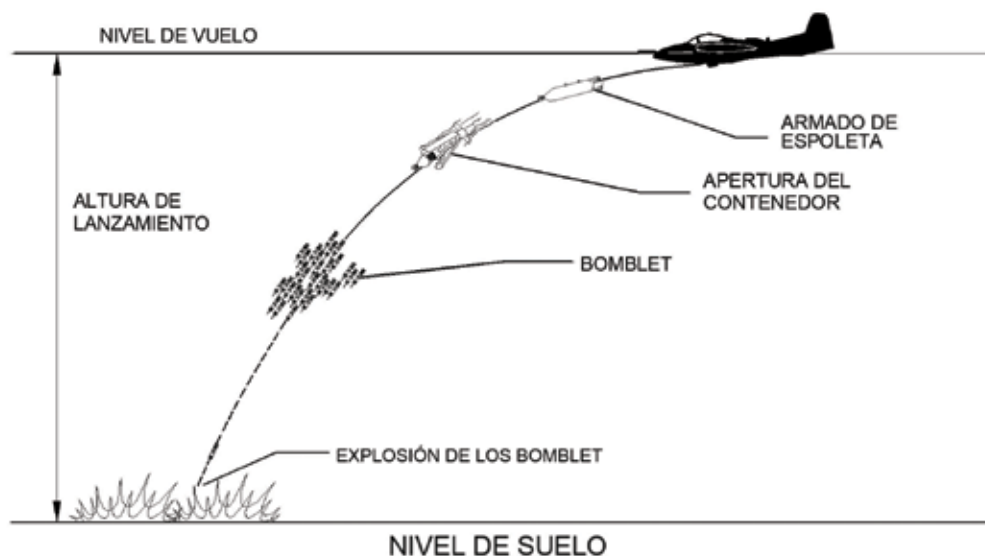


Figura N°8.4
Esquema de lanzamiento de bomba del tipo racimo.



Figura N°8.5
Submunición o
bomblet



Estas pequeñas bombas son denominadas submuniciones (bomblet), véase en el ejemplo en la Figura N°8.5, la cuales causan diferentes efectos, de acuerdo al objetivo para las que fueron diseñadas, por ejemplo, destruir vehículos con protección ligera, atacar concentraciones de tropas,

Como ejemplo, la bomba Cluster CB-250K, desarrollada en Chile por Industrias Cardoen, fue usada por la Fuerza Aérea de Chile y exportada a diversos países de Sudamérica y Asia durante la década de los años ochenta y noventa. En la Figura N°8.6, se puede observar su forma externa, esta bomba pesaba 250 Kgs y transportaba 240 submuniciones o bomblet.



Figura N°8.6
Bomba Racimo CB-250 K

producir incendios o sembrar minas antipersonales en el terreno, todas ellas figuran como las acciones más relevantes en que puede ser utilizada esta bomba.

En la Figura N°8.7, se muestra la distribución interna de los bomblets dentro de la bomba de racimo o cluster.

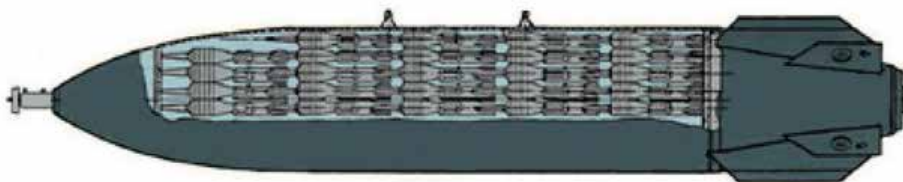


Figura N°8.7
Ubicación interna de las submuniciones o bomblet en una bomba del tipo racimo



8.1.6. OTRAS FUNCIONES QUE CUMPLEN LAS BOMBAS DE AVIACIÓN

Existen bombas de aviación que poseen funciones muy específicas, como las de práctica, de entrenamiento y de señalización, entre otras.

Un ejemplo es la bomba de práctica BDU-33 de procedencia norteamericana (de 57,5 cm de longitud y 11,8 kg de peso), la cual se aprecia en la Figura N°8.8. Esta bomba tiene un cuerpo de metal fundido en forma de lágrima con una cavidad hueca y redonda a lo largo del centro de la bomba, la parte trasera cónica tiene adosado un tubo con cuatro aletas cruciformes y un gancho de suspensión posicionado justo delante del centro de gravedad de la bomba ensamblada.

La BDU-33 en su interior aloja un cartucho fumígeno que se activa al

momento de impactar el blanco en el terreno, produciendo humo de color, con lo que señala su posición respecto del objetivo a batir.

El propósito de la BDU 33 es replicar la trayectoria de una bomba de aviación de propósito general, para iniciar la práctica en el lanzamiento de estos artefactos por parte de las tripulaciones de aeronaves de combate, antes de lanzar bombas de aviación reales.

8.2. GUIADO UTILIZADO EN LAS BOMBAS DE AVIACIÓN

En el primer capítulo de este libro, se enfatizó en la búsqueda de precisión durante los bombardeos aéreos, no obstante, la vulnerabilidad de las aeronaves que transportaban las bombas se hizo evidente frente a los ataques antiaéreos del enemigo, situación registrada durante la



Figura N°8.8
Bomba de Práctica BDU-33



Segunda Guerra Mundial, la guerra de Corea y la guerra de Vietnam, por lo que surge la urgente necesidad de desarrollar formas para que las bombas de aviación alcanzaran los blancos con precisión, pero lejos de las armas adversarias.

Este desarrollo que lideró Estados Unidos, se inicia a principios de la década de los años sesenta y se utiliza operacionalmente por primera vez en 1968, durante la guerra de Vietnam.

En términos generales, el guiado de una bomba de aviación se desarrolla a partir de que su cuerpo es utilizado para fijarle estructuras que contienen sistemas electro-mecánicos que permiten detectar la ubicación del blanco y de la bomba respecto de él. La información obtenida es procesada y la comparación de ambas ubicaciones permite al equipamiento de control a bordo de la bomba, corregir la trayectoria balística que lleva en tiempo real a través del movimiento de aletas o alas móviles que se encuentran unidas al cuerpo de la bomba, logrando impactar con mayor precisión el objetivo respecto de lo que lograría una bomba sin sistema de guiado.

El incremento de la tecnológica influyó en el desarrollo de los sistemas de guiado, mejorando la precisión y aumentando la distancia de lanzamiento respecto del objetivo, con ello se redujo significativamente la vulnerabilidad de la aeronave frente a la defensa antiaérea.

Con la intención de aclarar, se abordan de manera descriptiva los sistemas de guiado asociados a las bombas de aviación y su funcionamiento, considerando los existentes al momento que se escribe este texto. Los sistemas de guiado son:

- Sistema Inercial
- Sistema láser
- Sistema por Teledirección
- Sistema Asociado al Sistema de Posicionamiento Global (GPS).
- Sistema de Integración de Guiado

8.2.1. GUIADO MEDIANTE SISTEMA INERCIAL

La navegación inercial es una técnica de navegación autónoma que emplea sensores de movimiento (acelerómetros), sensores de rotación (giróscopos) y un computador para calcular y obtener la velocidad, posición y orientación de un móvil a partir de un punto inicial de referencia con orientación y velocidad conocidas.

Su principio de operación es muy simple, si se mide la aceleración de un vehículo, se puede matemáticamente integrar la aceleración con respecto al tiempo para obtener la velocidad y luego integrar la velocidad para obtener su posición. Por lo tanto, suponiendo que se conoce la posición y la velocidad iniciales, se puede determinar la posición del vehículo en cualquier momento posterior a su ubicación inicial. Por otra parte, a través de los giróscopos es factible



conocer el cambio de orientación del vehículo a partir de una orientación inicial. Esta forma de guiado se expresa en el diagrama de la Figura N°8.9.

Sobre su aplicación en el guiado de bombas de aviación, este sistema es aplicado sólo como complemento a otros sistemas de guiado, que será tema de análisis más adelante. A modo de ejemplo, el guiado por láser o por GPS que gobiernan la trayectoria de vuelo de una bomba hasta el impacto en el blanco, utilizan el guiado inercial como complemento.

8.2.2. GUIADO MEDIANTE DESIGNACIÓN LÁSER

Esta forma de guiado fue el primer sistema en ser aplicado a las bombas de aviación, con muy buenos resultados, y es conocido coloquialmente como "bomba inteligente" o "bomba láser", al lograr durante su empleo gran precisión en el impacto en el blanco respecto de una bomba lanzada sin

sistema de guiado, denominándose como bomba de guiado láserico (LGB).

Este sistema está conformado por el cuerpo de una bomba de aviación, equipada por componentes electrónicos y mecánicos en la nariz y un estabilizador en la cola de la bomba, desarrollándose para darle precisión en el blanco por destruir.

Esto se consigue cuando el designador láser, terrestre o aéreo, "ilumina" o "designa" el objetivo a destruir y la reflexión de esta energía es recibida por la unidad detectora de la LGB, procesándola y logrando producir los movimientos de las aletas móviles que posee el sistema en la bomba, que corrige su trayectoria buscando impactar con precisión.

En la ilustración de la Figura N°8.10 se aprecia esquemáticamente esta forma de operar del sistema de guiado por láser.

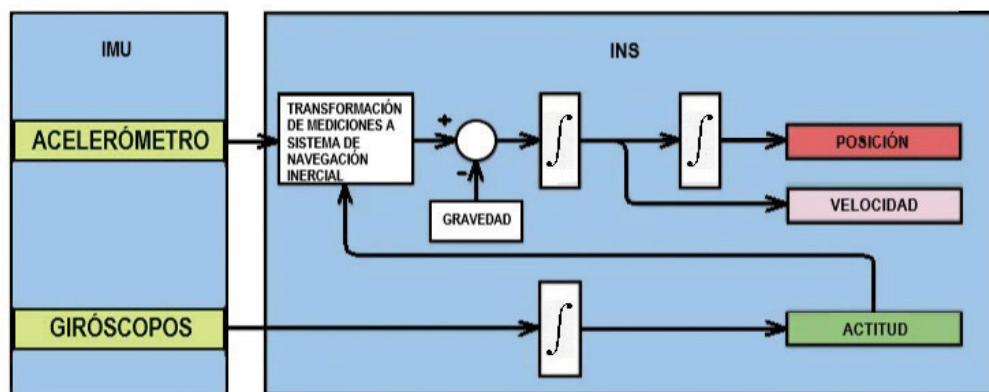


Figura N°8.9
Diagrama de bloque de un Sistema de Navegación Inercial

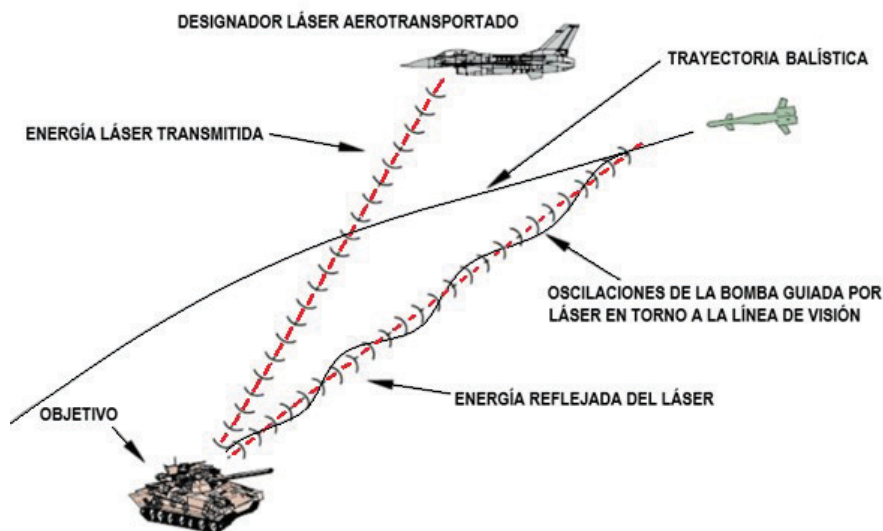


Figura N°8.10
Esquema general de guiado de bombas por láser

El sistema de guiado por láser se utiliza preferentemente de día mientras las condiciones climáticas como nubosidad o caída de nieve, entre otras, no impidan mantener el contacto visual entre el sistema de designación, el blanco y el kit de guiado láser acoplado al cuerpo de la bomba.

Los componentes del sistema de guiado láser pueden utilizar diversos

cuerpos de bombas (propósito general, penetración, entre otros) para cumplir su cometido.

Un sistema de guiado lasérico, se compone de dos partes; el Grupo de Control de Guiado (CCG) y el Estabilizador, los que se visualizan en la ilustración de la Figura N°8.11.



Figura N°8.11
Ubicación de la CCG y el conjunto de aletas



Figura N°8.12
Componentes de la CCG

8.2.2.1. EL COMPUTADOR DE CONTROL Y GUIADO (CCG) 8.2.2.1.1. DETECTOR

En primer término el CCG se halla instalado en la parte delantera del cuerpo de la bomba y posee tres componentes; la unidad detectora, el computador y la unidad de control, las que se aprecian en la ilustración en la Figura N°8.12.

Se ubica en la parte delantera del CCG, esta unidad recibe el rayo láser reflejado del blanco y lo transforma en energía eléctrica mediante un conjunto óptico, donde es filtrada antes de ser transmitida a través de las lentes y enfocada en el detector de cuatro cuadrantes.

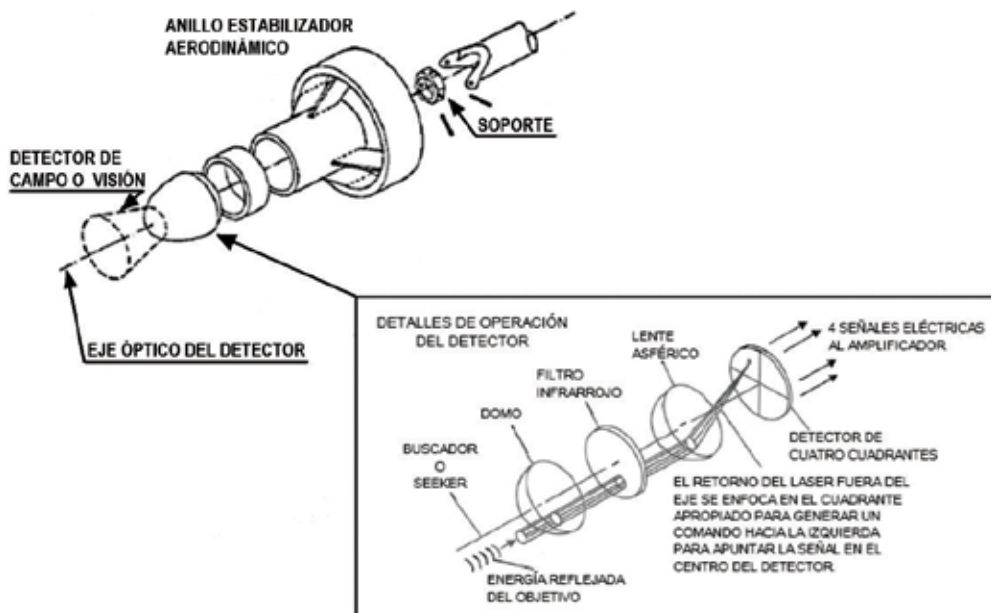


Figura N°8.13
Esquema de la Unidad Detectora



Dependiendo de la orientación de la LGB, el haz de energía choca en diferentes porciones del detector, el cual puede incluir uno o más cuadrantes. El o los cuadrantes donde recibe esta energía, determinan la corrección de dirección necesaria para el impacto de la LGB en el blanco. Cada cuadrante genera una corriente eléctrica proporcional a la cantidad de energía que choca con el objetivo. La corriente de salida del detector fotoeléctrico es la de entrada a un preamplificador, el cual convierte la entrada de corriente en voltaje de salida y se envía a una resistencia mezcladora. Dentro de este complejo mezclador se suman las salidas de cuadrantes adyacentes para comparación de las mitades del detector. El resultado de esta comparación produce señales de posición (arriba, abajo, derecha, izquierda) al computador de guiado.

Lo descrito, se observa esquemáticamente en la Figura N°8.13.

8.2.2.1.2. COMPUTADOR

Es una unidad electrónica que procesa la señal procedente del detector, amplificándola, comparándola y proporcionando voltajes regulados que son necesarios para el funcionamiento de los componentes electrónicos del sistema.

8.2.2.1.3. SECCIÓN DE CONTROL

Contiene elementos mecánicos necesarios para realizar los movimientos de las aletas directoras, en esta sección además se encuentra la batería térmica y el generador de gases.

En esta área se encuentra alojada la batería térmica, cuya función es proporcionar la energía eléctrica al sistema desde la separación de la bomba de la aeronave hasta el impacto al blanco. Se activa por un dispositivo de disparo de batería (BFD), conectado

al cable de armado de la bomba y tiene una duración superior a los 60 segundos. Ver Figura N°8.14.

Además en esa zona se alberga



Figura N°8.14
Ubicación de la
batería térmica y
generador de gases
en la CCG



el generador de gases, que como su nombre lo indica, proporciona el gas caliente o frío a alta presión, lo que permitirá a través de cuatro solenoides y válvulas gobernadas por señales eléctricas, procedentes del computador, deflectar las aletas móviles para corregir la trayectoria de la bomba para llegar al blanco con precisión. En la Figura N°8.14 se aprecia la ubicación de ambos elementos (batería térmica y generador de gases).

Como se ha indicado anteriormente, las aletas al recibir la señal por parte del computador, generarán fuerzas aerodinámicas que permitirán corregir

la trayectoria de la bomba, alineando el vector velocidad con la línea visual instantánea (LOS), la cual va desde la posición en vuelo de la bomba al blanco u objetivo iluminado, lo que se ilustra en la Figura N°8.15.

Para complementar lo descrito, en la Figura N°8.16 se muestra el diagrama en bloque del computador de control de Guiado (CCG), con la descripción de las funciones que cumplen el detector, el computador y la unidad de control, desde que reciben la energía reflejada del láser en el blanco hasta el movimiento de las aletas que corrigen la trayectoria.

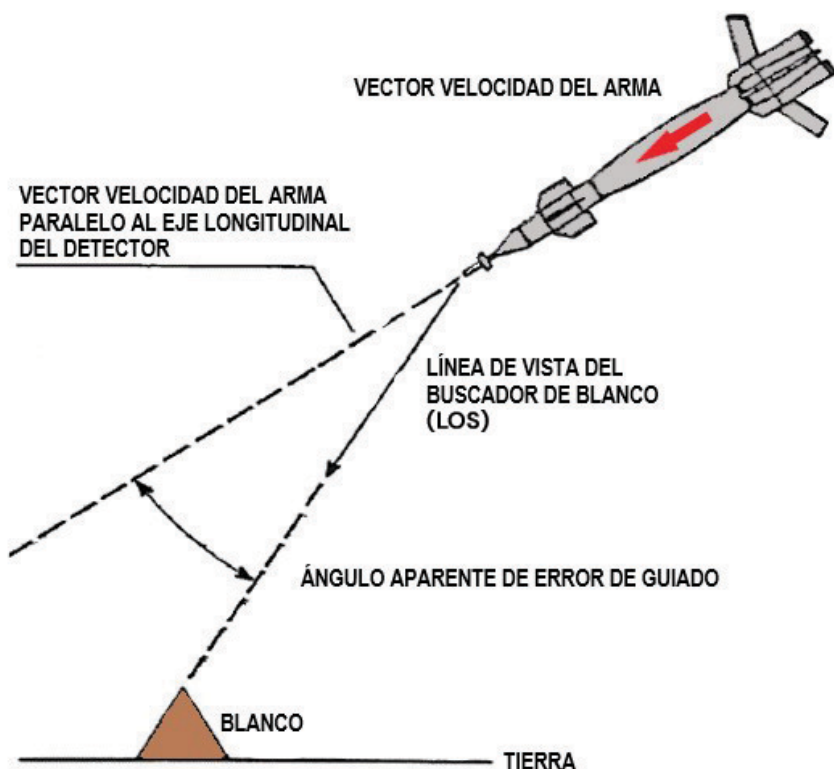


Figura N°8.15

Ángulo formado entre el Vector Velocidad de la bomba y el LOS

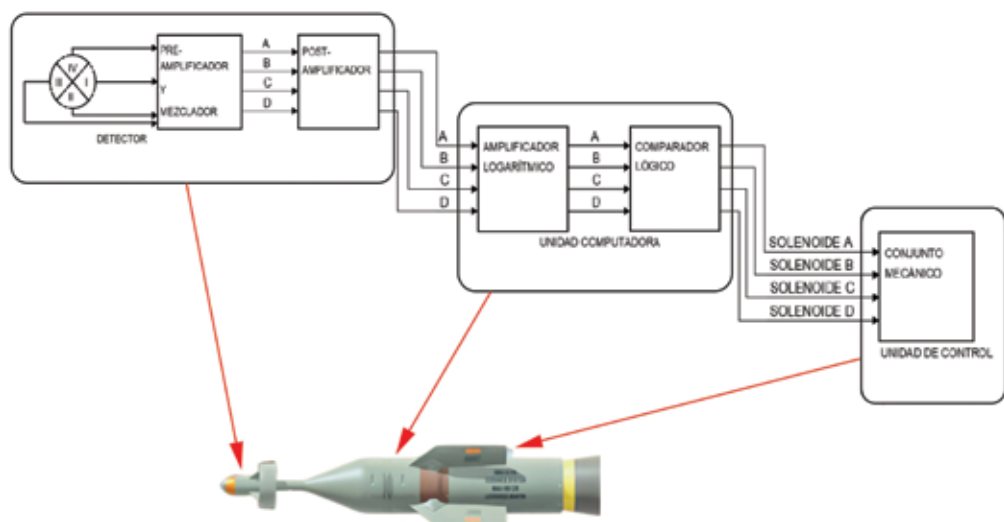


Figura N°8.16
Diagrama en bloque de los componentes del CCG



Figura N°8.17
Estabilizador de un kit de guiado láserico

8.2.2.2. ESTABILIZADOR

En párrafos anteriores, se ha descrito el Sistema de Estabilización del kit de guiado, el cual se ubica en la parte trasera del cuerpo de la bomba, proporcionando la estabilización y aumentando la fuerza de sustentación necesaria una vez que la bomba es

lanzada desde la aeronave. Al separarse de ella, las aletas se despliegan, como se aprecia en la Figura N°8.17.

8.2.3. GUIADO MEDIANTE TELEDIRECCIÓN

Este sistema de guiado, consiste en una cámara de televisión en blanco y



negro y la electrónica del buscador, aletas fijas y móviles. En este caso, la tripulación de la aeronave debe maniobrar el avión para alinear el buscador con un objetivo, que visualiza a través de una pantalla de televisión con la imagen que entrega la cámara. Cuando la "puerta" central de la pantalla de televisión está en un objetivo con un contraste de imagen suficientemente alto, se puede fijar el buscador(imagen), después de hacerlo la bomba se lanza y es guiada hacia el objetivo por la lógica del buscador, contrastando la imagen del blanco ya fijada con la imagen en tiempo real durante su vuelo.

En la Figura N°8.18, se muestra una ilustración del funcionamiento.

Este tipo bomba se puede utilizar preferentemente de día, lo que limita su utilización durante la noche y bajo condiciones climáticas adversas como la presencia de niebla, lluvia intensa o nubes bajas afectando su efectividad.

Esto trajo como consecuencia la incorporación de mejoras, como la instalación de un buscador óptico de imágenes infrarrojas, lo que permitió utilizar la bomba con este kit en objetivos con poca luz diurna o parcialmente oscurecidos por el humo y las nubes. También en

versiones posteriores se introdujo un sistema de navegación inercial y radio altímetro que mejora su efectividad comparativamente con los modelos iniciales de este sistema de guiado de bombas, logrando que los lanzamientos fueran realizados a mayores distancias respecto del blanco a destruir.

La Figura N°8.19, muestra la bomba guiada por televisión denominada GBU 15 Wallace, utilizando un cuerpo de bomba del tipo MK-84.

8.2.4. GUIADO MEDIANTE ASOCIACIÓN ENTRE EL SISTEMA INERCIAL (INS) Y EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)

La bomba de aviación guiada por satélite, nace como mejora importante al grado de precisión y limitaciones operacionales que posee

Figura N°8.18
Esquema de funcionamiento de una bomba guiada por televisión.





Figura N°8.19
Cuerpo de bomba del
tipo MK-84, con kit
denominada "Wal-
lace".

sea dirigida con gran exactitud hacia su objetivo, en condiciones meteorológicas adversas y a una

principalmente el sistema de guiado láser para bombas de aviación.

mayor distancia, respecto del sistema de designación láserica.

Esto trajo como consecuencia el desarrollo del sistema conocido como Munición de Ataque Directo (Joint Direct Attack Munition, JDAM), que se compone de un sistema de navegación inercial (INS) acoplado por un receptor de GPS, permitiendo que una munición

Asimismo fue desarrollado un kit, albergando en la cola de la bomba la unidad INS, el receptor GPS, la electrónica de control y aletas de cruciforme (tres móviles, una fija) para dirigir la bomba, lo que se muestra en la Figura N°8.20.

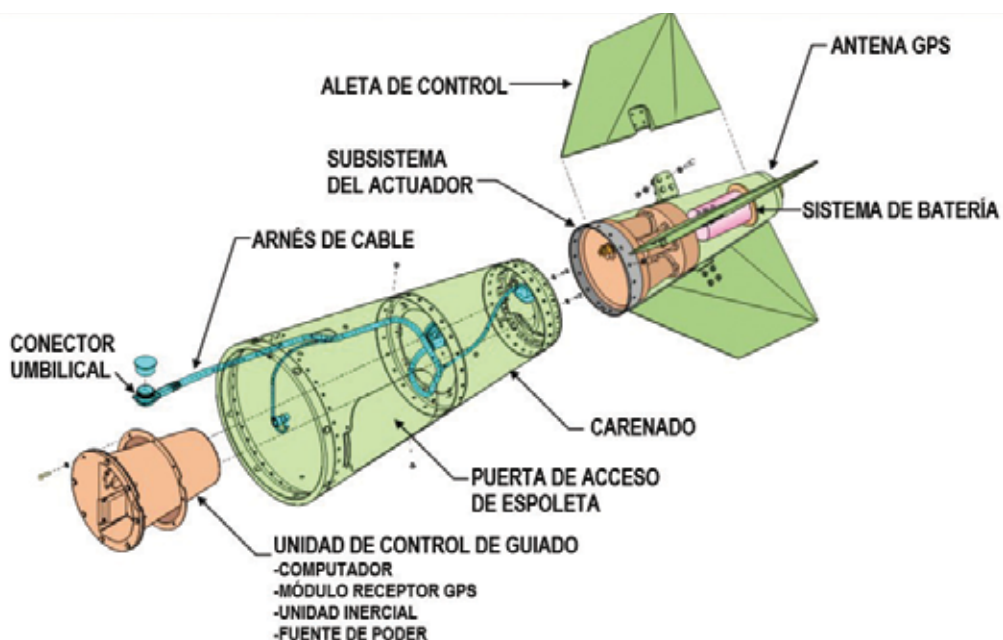


Figura N°8.20
Kit de guiado JDAM



Figura N°8.21

Funcionamiento del sistema de guiado de bombas de aviación JDAM

Previo al lanzamiento, el objetivo debe estar posicionado en términos de sus coordenadas GPS (latitud, longitud) en la base de datos del sistema de control de la bomba, información que es cargada en la aeronave y traspasada a la bomba al momento de ser lanzada, cuyo esquema se observa en la Figura N°8.21.

Una vez lanzada la bomba con la información que lleva almacenada, comienza un vuelo hacia el objetivo en base a la navegación por sistema inercial exclusivamente, contrarrestando cualquier desvío que pueda afectar su trayectoria hasta que se agrega complementariamente el sistema de posicionamiento global, denominado GPS, ambos sistemas permiten en tiempo real corregir su trayectoria en vuelo y garantizar que llegue al objetivo de forma precisa.

Durante todo el vuelo el sistema de control de la bomba realiza ajustes automáticos en la trayectoria para corregir cualquier desvío debido al viento, a la velocidad de la aeronave al momento del lanzamiento u otros factores que podrían afectar el curso de la bomba, véase la Figura N°8.22, que esquematiza la participación del sistema inercial y del sistema GPS durante el vuelo de la bomba.

Este sistema se puede apreciar instalado en el cuerpo de una bomba de penetración en la Figura N°8.23.

Considerando lo descrito respecto del sistema JDAM, se han complementado los sistemas de guiado que posee (guía por sistema inercial y por satélites), sumando el sistema de guiado por láser por lo que se denomina Laser Joint Direct Attack Munition (LJDAM).

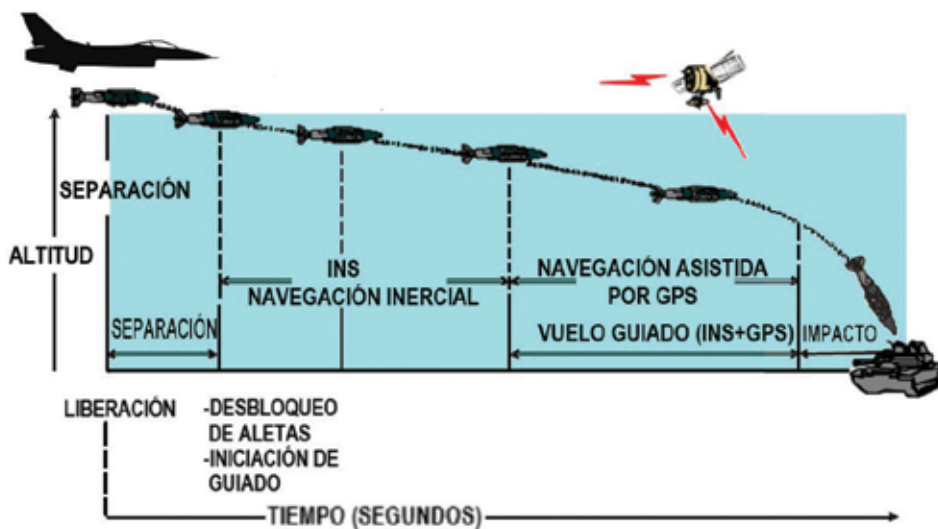


Figura N°8.22
Representación del lanzamiento de la bomba de aviación con kit JDAM



Figura N°8.23
Kit LJDAM instalado en el cuerpo de una bomba BLU 111

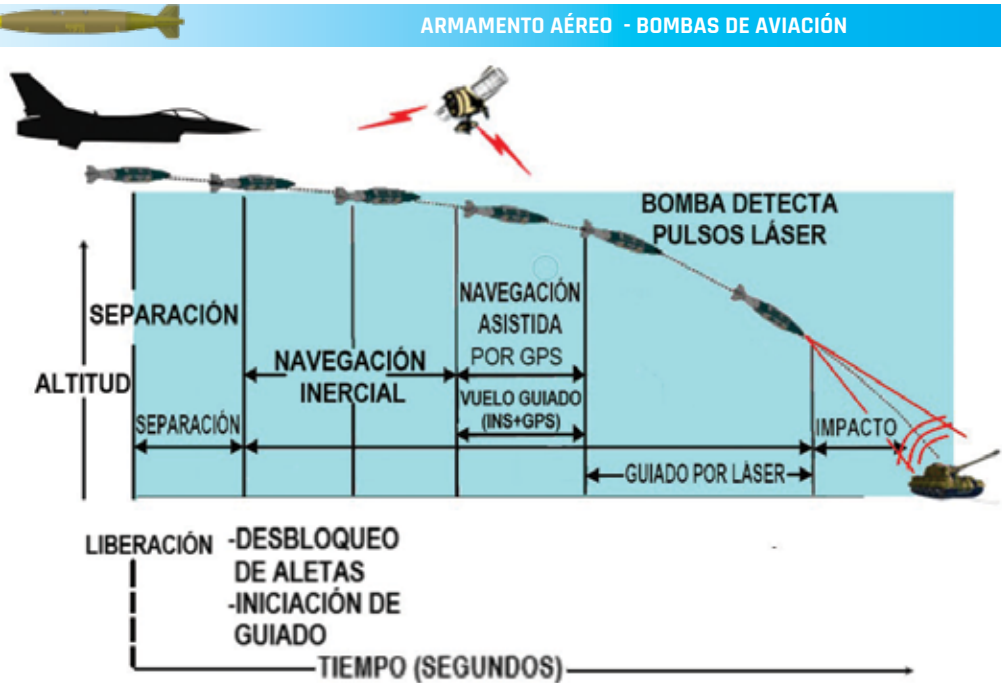


Figura N°8.24

Representación del lanzamiento de la bomba de aviación con kit LJDAM

El LJDAM consiste en un conjunto de sensores láser instalado en la nariz del cuerpo de la bomba, Figura N° 8.24, junto con una espoleta y accesorios de espoleta, mejorando su funcionalidad básica en la ejecución de objetivos fijos planificados previamente, incluyendo la capacidad de ejecutar objetivos móviles con láser.

Al lanzarse desde la aeronave, la LJDAM inicia el guiado a través del Sistema de Navegación Inercial (INS), para posteriormente complementar su guía con el Sistema de Posicionamiento Global (GPS). El sensor láser actúa en la parte final de la trayectoria al blanco. Con la energía reflejada por el blanco, el sensor láser proporciona mediciones de azimuth y ángulo de elevación al conjunto de guía LJDAM, el cual utiliza estas mediciones de ángulo

junto con estimaciones del vector de velocidad objetivo, para actualizar continuamente las coordenadas objetivo originales proporcionadas en el lanzamiento.

Durante la fase terminal, el LJDAM pasa a una guía proporcional hacia el objetivo incluido una corrección, si corresponde, de la velocidad objetivo. Lo descrito se muestra en la Figura N°8.24.

8.2.5. GUIADO MEDIANTE EL SISTEMA DE INTEGRACIÓN DE GUIADO (JOINT STAND-OFF WEAPON)

Esta arma se denomina Arma de Enfrentamiento Conjunto (Joint Stand-off Weapon), nace para

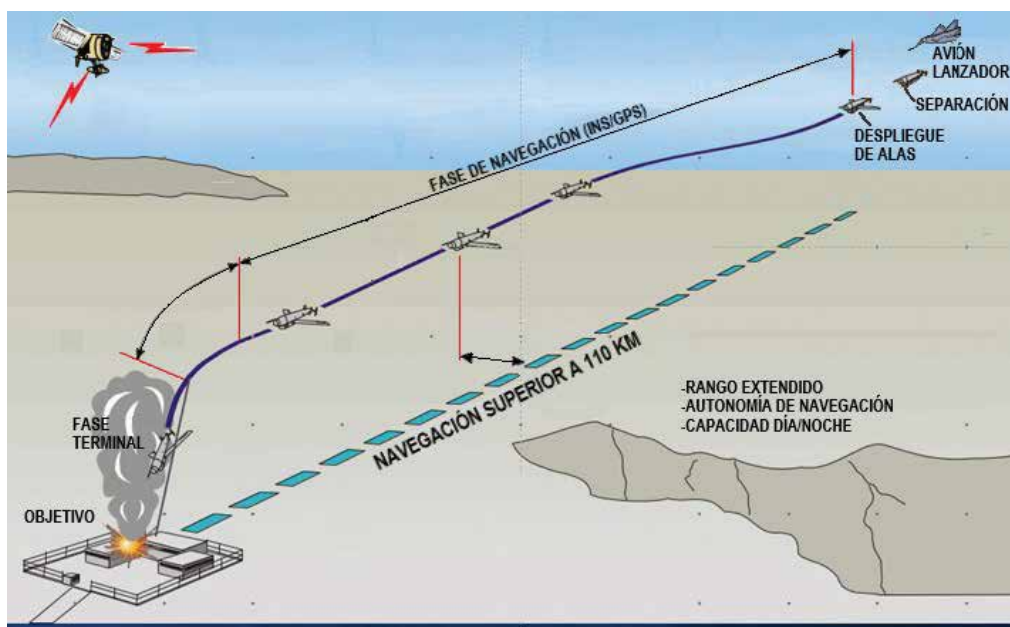
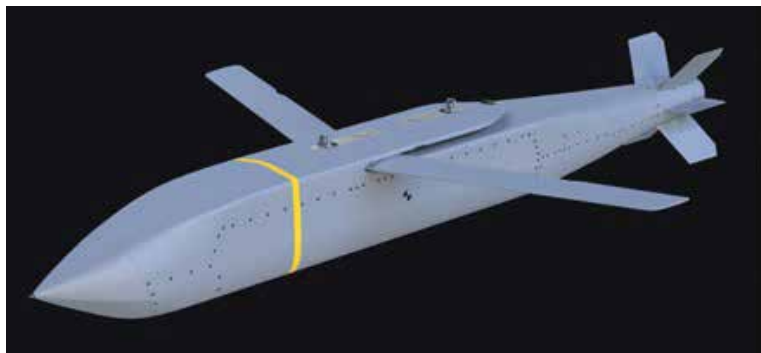


Figura N°8.25
Trayectoria de una bomba de aviación con kit JSOW

atacar blancos lejos del alcance de la defensa antiaérea que lo protege, aumentando la sobrevivencia de los aviones atacantes y minimizando las pérdidas propias. Conocida como "bomba planeadora" es un arma de precisión guiada aire-superficie, que puede emplearse contra diversos objetivos, teniendo la capacidad de lanzarse fuera del alcance de la defensa antiaérea, en un rango de distancia que va entre los 25 y los 120

kilómetros del blanco dependiendo de la altitud de lanzamiento, se observa esquemáticamente en la Figura N° 8.25.

El arma consiste en una estructura aerodinámicamente eficiente, con alas desplegables y superficies de control de vuelo montadas en la cola, que lleva el cuerpo de una bomba de aviación, como se muestra en la versión artística de la JSOW, Figura N°8.26.



El kit JSOW junto al cuerpo de la bomba que lo porta, se

Figura N°8.26
Imagen artística de una bomba de aviación con kit JSOW



fija por ganchos a la estructura de la aeronave, con las alas plegadas y suspendidas. Este kit también puede ser transportado en estaciones internas, en aeronaves que tienen esta capacidad.

La JSOW es un arma del tipo “dispara y olvida” que emplea principalmente un sistema integrado compuesto por un Sistema de Posicionamiento Global, un Sistema de Navegación Inercial y un buscador infrarrojo que mejora la fase terminal de trayectoria de vuelo al blanco. También pueden sumarse data link y FLIR en otras versiones, con la finalidad de mejorar la precisión en su vuelo al blanco. Esto permite que este tipo de arma pueda operar tanto de día, como de noche y en condiciones meteorológicas adversas.

En la Figura N°8.27, se muestra en

perspectiva explosiva un kit JSOW que se asocia a una bomba de aviación.

El kit JSOW lleva el cuerpo de una bomba de aviación u otra carga de similares características, que de acuerdo a su tipo (propósito general, fragmentación o penetración, entre otros), producirá el efecto deseado en el blanco a batir. En la ilustración de la Figura N°8.28, se aprecian algunos tipos de configuraciones de esta arma, como es la JSOW que trasporta 145 submuniciones con capacidad de destruir vehículos y materiales y causar un efecto incendiario (JSOW A).

También está la JSOW A1, que transporta el cuerpo de una bomba del tipo BLU 111 (similar a la MK-82), pero con mayor insensibilidad térmica y la JSOW C, que puede transportar una ojiva que posee características

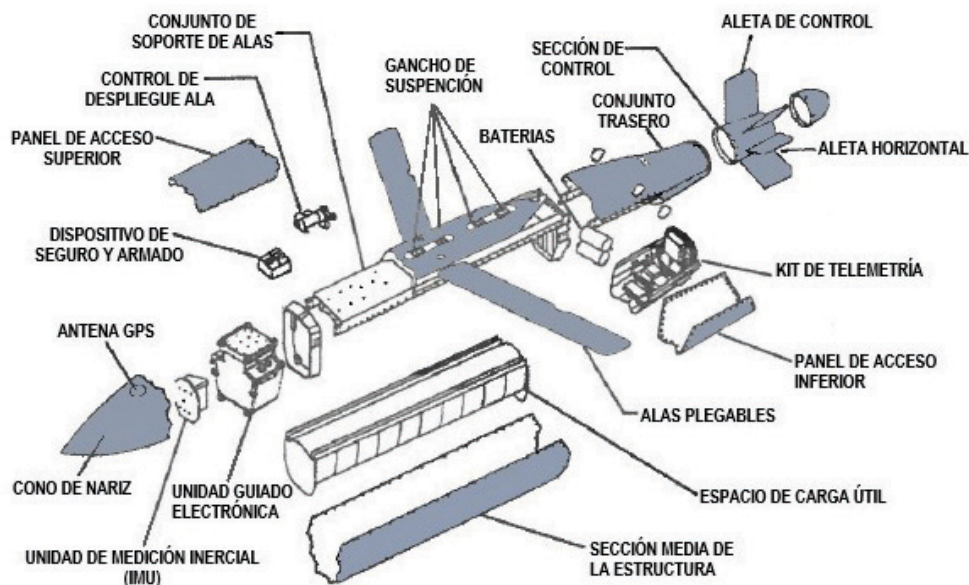


Figura N°8.27
Perspectiva de los componentes de un Kit JSOW



de explosión /fragmentación y/o de penetración. Esta última abre camino a través de blindajes, hormigón o terreno y luego la segunda parte, de mayor tamaño, penetra el objetivo y detona en su interior, entre algunas configuraciones existentes al momento de esta publicación.

También a este kit, en versiones posteriores, se le ha introducido un motor turbo reactor, permitiendo tener propulsión propia, aumentando en forma significativa su alcance respecto del kit JSOW, que sólo permite su vuelo planeando.

JSOW A

GUIADO INS Y GPS



145 SUBMUNICIONES BLU 97

JSOW A-1

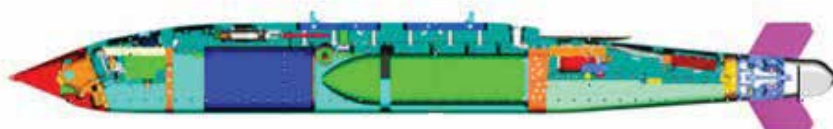
GUIADO INS Y GPS



BLU-111 (MK-82 DE BAJA SENSIBILIDAD DE EXPLOSIVO)

JSOW C

GUIADO INS Y GPS + BUSCADOR IR



BOMBA DE PENETRACIÓN / FRAGMENTACIÓN / EXPLOSIÓN

Figura N°8.28
Diversas configuraciones del kit JSOW





REFLEXIONES FINALES

Resulta admirable que la idea de un joven piloto, de lanzar bombas desde una aeronave hoy es una realidad concreta. Hacia 1911, era improbable el transporte y lanzamiento de una bomba para batir un blanco, más aún tener éxito en ello. Pero el ingenio humano, los contextos de guerra que se repitieron y exigieron mejores armas para defenderse y derrotar al enemigo y el surgimiento y desarrollo de la tecnología, confluyeron para generar las bombas de aviación que pueden ser lanzadas desde las alturas.

Este autor, con la experiencia adquirida en 25 años en el ámbito del armamento aéreo, y particularmente en bombas de aviación en la Fuerza Aérea de Chile, considera la urgente necesidad, para las nuevas generaciones que se incorporan a la vida castrense, de una preparación académica sólida y actualizada de los especialistas que intervienen en los procedimientos que se desarrollan, antes, durante y después, del lanzamiento de bombas de aviación. El conocimiento teórico y práctico, la rigurosidad de la aplicación de técnicas aeronáuticas, el seguimiento de las normas de seguridad, la capacidad investigativa y especialmente la constante exploración en la búsqueda de precisión, alcance y poder destructivo asociado a una plataforma aérea adecuada, otorgan a las bombas de aviación la categoría de ser un arma gravitante en las posibles guerras del futuro.





BIBLIOGRAFÍA

1. "Armamento Aéreo", Nelson Bravo Gasparri, Coronel de Aviación (I), Septiembre de 2018.
2. "El desarrollo de la bomba guiada en los EE.UU.", Trevor R. Reinert Mayor USAF, Revista Minerva N°77, Octubre 2017.
3. "1914 el año de la catástrofe", Max Hastings, año 2013.
4. "Historia de la Aviación", Grupo Editoriale Fabbri S.P.A. 1973, Milán Italia.
5. Manual Técnico "Bombs for Aircraft", TM 9-1980, Departamento de Guerra de los EE.UU., Noviembre de 1944.
6. Cartilla de Explosivos del Arsenal Naval de Talcahuano, Armada de Chile.
7. Orden Técnica "Military Explosives", TM 9-1300-214, del Ejército de los EE.UU., de septiembre de 1984.
8. Ammunition Technology, Volume 1 Introduction, Universidad de Cranfield, Gran Bretaña, Febrero de 1996.
9. Technical Manual NAVAIR 11-5A-17, de la Armada de EE.UU., Marzo de 2011.
10. "Explosivos, Propelentes y Pirotecnia Estado del Arte", Nikola B. Orbovic, Enero 2011.
11. "Weaponneering Conventional Weapon System Effectiveness", Morris R. Driels, second edition, 2013.
12. "A Study on Influence of Density and Viscosity of Emulsion Explosive on Its Detonation Velocity" Hemant Agrawal y Arvind Kumar Mishra. AMSE JOURNALS-AMSE IETA publication, Vol. 78; N°3; pp 316-336, 2017.
13. "Desarrollo Tecnológico Institucional de los Propelentes y su Monitoreo de Estabilidad Química" Rodrigo Alviña Sánchez Teniente 1º, Revista de Marina, 1999.
14. Acuerdo de Estandarización STANAG 4582, Materia: Explosivos, propulsantes a base de nitrocelulosa, procedimiento y requisitos de ensayo de estabilidad mediante calorimetría de flujo térmico, 09.JUL.2007.
15. "La Bomba Guiada por Láser" Jerónimo Rodenas Campos, Teniente del Ejército del Aire de España, Revista de Aeronáutica y Astronáutica, Febrero de 1986.





LISTA DE IMÁGENES E ILUSTRACIONES

Figura 1.1	Teniente Giulio Gavotti *	Pág. 1
Figura 1.2	Ilustración que muestra la hazaña del Teniente Gavotti.	Pág. 2
Figura 1.3	Bomba de mano Cipelli *	Pág. 2
Figura 1.4	El Teniente von Hiddessen y su avión Taube*	Pág. 5
Figura 1.5	Torpedo Aéreo *	Pág. 6
Figura 1.6	El Bicho de Kettering.	Pág. 6
Figura 1.7	Bombas de aviación usadas por Alemania en la II G.M. *	Pág. 8
Figura 1.8	Bomba Fritz X de origen alemán.	Pág. 9
Figura 1.9	Ataque a la presa Mohne el 16 de Mayo de 1943.	Pág. 10
Figura 1.10	SWOD MK 9 / ASM-N-2 Bat Glide Bomb (Murciélago).	Pág. 12
Figura 1.11	Bomba VB-1 de origen norteamericano *	Pág. 13
Figura 1.12	Bomba VB-3 de origen norteamericano.	Pág. 13
Figura 1.13	Bomba VB-13 TARZON de origen norteamericano.	Pág. 14
Figura 1.14	GBU-1, prototipo de un kit de guiado láserico con una bomba de aviación modelo M117 (750 lbs.)*	Pág. 17
Figura 1.15	Kit LGB tipo PAVEWAY, utilizando bomba de aviación tipo MK-84.	Pág. 18
Figura 1.16	Esquema de guiado láserico.	Pág. 19
Figura 1.17	Puente de Thanh Hoa, destruido por bombas de aviación guiadas por láser *	Pág. 20
Figura 1.18	Bomba de aviación MK-84, con kit de guiado JDAM.	Pág. 24
Figura 1.19	Diseño artístico de una bomba guiada AGM-154 Joint Standoff Weapon (JSOW).	Pág. 25
Figura 2.1	Cuerpo Bomba de Aviación MK-84.	Pág. 27
Figura 2.2	Bomba de racimo CB-250 *	Pág. 28
Figura 2.3	Esquema de funcionamiento de una bomba de aviación tipo racimo.	Pág. 28



Figura 2.4	Función integradora del cuerpo de una bomba de aviación.	Pág. 29
Figura 2.5	Ilustración del interior de una bomba de aviación de propósito general del tipo MK.	Pág. 30
Figura 2.6	Ilustración del interior de una bomba de aviación de penetración del tipo BLU.	Pág. 30
Figura 3.1	Explosión de una bomba de aviación sobre el terreno.	Pág. 41
Figura 3.2	Onda de choque de presión v/s tiempo.	Pág. 41
Figura 3.3	Ángulos de ataque e impacto de una bomba contra el terreno.	Pág. 42
Figura 3.4	Penetración de un refugio de aeronaves con una bomba GBU-39 (Small Diameter Bomb).	Pág. 43
Figura 3.5	Esquema de una Carga Hueca.	Pág. 43
Figura 3.6	Maqueta de bomba de aviación con carga hueca y ojivas punzantes SARB 83 fabricada en Turquía.	Pág. 43
Figura 3.7	Cráter producido por una bomba de aviación.	Pág. 45
Figura 3.8	Efectos de una bomba incendiaria de napalm.	Pág. 46
Figura 4.1	Tren explosivo de una bomba de aviación.	Pág. 48
Figura 4.2	Tren explosivo de acción instantánea de una bomba de aviación.	Pág. 48
Figura 4.3	Tren explosivo de acción retardada de una bomba de aviación.	Pág. 49
Figura 4.4	Espoleta mecánica y espoleta electrónica.	Pág. 49
Figura 4.5	Ubicación de espoletas en una bomba de aviación.	Pág. 50
Figura 4.6	Efectos de la bomba según ubicación de espoletas.	Pág. 51
Figura 4.7	Espoleta M-905 accionada por una veleta.	Pág. 52
Figura 4.8	Método de iniciación eléctrica de espoletas electrónicas.	Pág. 53
Figura 4.9	Espoleta e nariz M 904.	Pág. 54
Figura 4.10	Sensor de proximidad DSU-33.	Pág. 54
Figura 4.11	Ubicación de sensor de proximidad y espoleta en una bomba de aviación.	Pág. 55
Figura 4.12	Espoleta electrónica de tiempo.	Pág. 55



Figura 4.13	Ilustración de los métodos de funcionamiento de las espoletas.	Pág. 56
Figura 5.1	Estabilizador de aletas cruciforme para una bomba del tipo MK.	Pág. 57
Figura 5.2	Estabilizador tipo MK-15, usado en bombas del tipo MK.	Pág. 58
Figura 5.3	Ilustración de un estabilizador con el globo inflado.	Pág. 59
Figura 5.4	Estabilizador de aleta desplegable y aletas móviles de un kit de guiado láserico en una bomba de aviación.	Pág. 59
Figura 5.5	Estabilizador trasero de aletas plegables de una bomba con kit de guiado láserico.	Pág. 60
Figura 5.6	Aletas móviles de un estabilizador de una bomba de aviación de guiado por GPS.	Pág. 60
Figura 5.7	Representación artística de una Bomba de Aviación GBU-39.	Pág. 61
Figura 5.8	Evolución del alcance de las bombas con diferentes sistemas de guiado, estabilizadores y alas desplegables.	Pág.61
Figura 6.1	Separación OTAN de los ganchos de suspensión para bombas de aviación de acuerdo con su peso.	Pág. 64
Figura 6.2	Gancho de suspensión utilizado en bomba de aviación MK-82	Pág. 64
Figura 6.3	Gancho de suspensión utilizado por la bomba BDU-33	Pág. 64
Figura 6.4	Ganchos de suspensión separados a 14 pulgadas en bomba de aviación del tipo MK-82.	Pág. 65
Figura 6.5	Gancho de suspensión ubicado en una Bomba de Práctica BDU-33	Pág. 65
Figura 7.1	Alambre de armar de bomba MK-82.	Pág. 68
Figura 7.2	Alambre asegurando la espoleta de nariz de la bomba.	Pág. 68
Figura 7.3	Clip de seguridad tipo FZU-18 en una espoleta de nariz.	Pág. 68
Figura 7.4	Swivel and link (destorcedor).	Pág. 69
Figura 7.5	Veleta en una bomba de propósito general MK-82.	Pág. 69
Figura 7.6	Booster de nariz y booster de cola de una bomba MK 82.	Pág. 70
Figura 7.7	Booster de nariz(izquierda)y booster de cola(derecha).	Pág. 71



Figura 7.8	Ubicación del booster de cola en el tren explosivo de la MK-82.	Pág. 71
Figura 7.9	Delay que se utiliza en una espoleta M 904 o M905.	Pág. 72
Figura 7.10	Ubicación de un delay en una espoleta.	Pág. 72
Figura 7.11	Retardo por delay en la activación del tren explosivo de la bomba de aviación.	Pág. 73
Figura 7.12	Ferrule aplicado al alambre de armar.	Pág. 73
Figura 7.13	Governed Coupler (copla).	Pág. 74
Figura 7.14	Ubicación del Eje flexible.	Pág. 74
Figura 7.15	Eje Flexible.	Pág. 75
Figura 7.16	Chaveta (cotter pin).	Pág. 75
Figura 7.17	Ubicación de componentes en una bomba de aviación tipo MK-82.	Pág. 76
Figura 8.1	Familia de bombas del tipo MK.	Pág. 78
Figura 8.2	Cuerpo de bomba de aviación tipo MK-82 con kit de guiado láserico Paveway II instalado.	Pág. 78
Figura 8.3	Bomba de aviación de penetración BLU 109.	Pág. 79
Figura 8.4	Esquema de lanzamiento de bomba del tipo racimo.	Pág. 80
Figura 8.5	Submunición o bomblet.	Pág. 81
Figura 8.6	Bomba Racimo CB-250 K.	Pág. 81
Figura 8.7	Ubicación interna de las submunciones o bomblet en una bomba del tipo racimo.	Pág. 81
Figura 8.8	Bomba de Práctica BDU-33.	Pág. 82
Figura 8.9	Diagrama de bloque de un Sistema de Navegación Inercial.	Pág. 84
Figura 8.10	Esquema general de guiado de bombas por láser.	Pág. 85
Figura 8.11	Ubicación de la CCG y el conjunto de aletas.	Pág. 85
Figura 8.12	Componentes de la CCG.	Pág. 86
Figura 8.13	Esquema de la Unidad Detectora.	Pág. 86
Figura 8.14	Ubicación de la batería térmica y generador de gases en la CCG.	Pág. 87



Figura 8.15	Angulo formado entre el Vector Velocidad de la bomba y el LOS.	Pág. 88
Figura 8.16	Diagrama en bloque de los componentes del CCG.	Pág. 89
Figura 8.17	Estabilizador de un kit de guiado láserico.	Pág. 89
Figura 8.18	Esquema de funcionamiento de una bomba guiada por televisión.	Pág. 90
Figura 8.19	Cuerpo de bomba del tipo MK-84, con kit denominada "Wallace".	Pág. 91
Figura 8.20	Kit de guiado JDAM.	Pág. 91
Figura 8.21	Funcionamiento del sistema de guiado de bombas de aviación JDAM.	Pág. 92
Figura 8.22	Representación del lanzamiento de la bomba de aviación con kit JDAM.	Pág. 93
Figura 8.23	Kit LJDAM instalado en el cuerpo de una bomba BLU 111.	Pág. 93
Figura 8.24	Representación del lanzamiento de la bomba de aviación con kit LJDAM.	Pág. 94
Figura 8.25	Trayectoria de una bomba de aviación con kit JSOW.	Pág. 95
Figura 8.26	Imagen artística de una bomba de aviación con kit JSOW.	Pág. 95
Figura 8.27	Perspectiva de los componentes de un Kit JSOW.	Pág. 96
Figura 8.28	Diversas configuraciones del kit JSOW.	Pág. 97

Esquemas, Diagramas, Dibujos y Fotografías Artísticas son propiedad del autor de esta publicación.

** Ilustraciones de dominio público.*





GLOSARIO

Adiabático (a) Proceso o Sistema en el que no hay transferencia de calor entre el Sistema y su entorno.

Azimut Ángulo que se mide en el plano horizontal entre la dirección norte (o un punto de referencia) y la dirección a un objeto o punto de interés. Se mide en grados, desde 0° a 360°, comenzando en el norte.

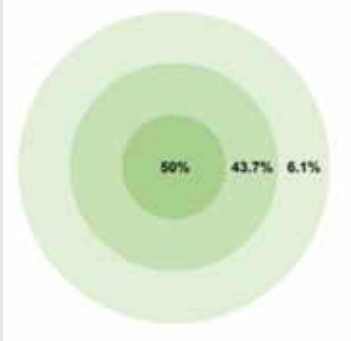
Blanco / objetivo Es un objeto que, por su naturaleza, ubicación, finalidad o utilización, contribuye eficazmente a la acción militar y cuya destrucción, captura o neutralización ofrece una ventaja militar definida.

Bomba Artefacto explosivo que libera energía de forma repentina y violenta.

Bomb rack Porta bombas o dispensador de bombas.

CEP (Error Circular Probable o Circular Error Probability, en inglés) En balística, es una medida de la precisión de un arma. Se define como el radio del círculo dentro del cual la probabilidad de que impacte una ojiva, un misil, una bomba o un proyectil es del 50%.

El concepto del CEP se basa en una distribución normal de la precisión, es decir, si el CEP es n metros, el 50% de las municiones caerán a menos de n metros del objetivo, el 43% entre n y 2n y el 7% entre 2n y 3n metros, y la proporción de municiones que impacten a más de 3n metros del objetivo será de menos del 0,2%.





Booster	En el caso de la bombas de aviación, el booster o amplificador es un puente entre una espoleta y un explosivo de baja sensibilidad (pero de alta energía) que se aloja en el cuerpo de la bomba.
Brisancia	En el contexto de explosivos se refiere a la capacidad de un explosivo para fragmentar o romper materiales con rapidez, como rocas u otros objetos.
Canard	Es una configuración de ala en la que una pequeña ala delantera o plano delantero se coloca por delante del ala principal de una aeronave de ala fija o un arma. El término “canard” puede usarse para describir la aeronave en sí, la configuración del ala o el plano delantero. Las alas canard también se utilizan ampliamente en misiles guiados y bombas inteligentes.
Data link	Es un medio de comunicación que permite la transmisión y recepción de información entre dos ubicaciones.
Deflagración	Es una explosión que ocurre a una velocidad menor que la del sonido.
Densidad	Es la medida de la masa de un objeto por unidad de volumen. En otras palabras, indica cuánta “masa” hay en un determinado “espacio”.
Detonación	Es una explosión que ocurre a una velocidad supersónica.
Empenaje	El empenaje, también conocido como cola o conjunto de cola, es la estructura posterior de una aeronave que proporciona estabilidad y control durante el vuelo. Se compone de un estabilizador vertical y uno horizontal, que ayudan a mantener el equilibrio y dirección de la aeronave.
Entalpía	El calor que absorbe o libera un sistema sometido a presión constante.
GBU	Guided bomb unit (bomba guiada).
Interdicción Aérea	Una operación aérea realizada para destruir, neutralizar o demorar el potencial militar del enemigo antes que pueda entrar efectivamente en combate en contra de las fuerzas aliadas en las que una detallada integración de cada misión aérea con respecto al fuego y al traslado de las fuerzas aliadas no sea requerido.
JDAM	Joint direct attack munition (munición de ataque directo conjunto).



JSOW	Joint Standoff Weapon (arma de lanzamiento a distancia de seguridad).
Oxidación-Reducción (REDOX)	Es un tipo de reacción química donde hay transferencia de electrones entre dos especies. Una sustancia se oxida (pierde electrones) y otra se reduce (gana electrones) en forma simultánea.
rpm	Revoluciones por minuto, es una unidad de medida que indica la frecuencia con la un objeto gira, específicamente, cuantas veces gira sobre su propio eje en un minuto.
Sensibilidad	La sensibilidad de los explosivos se refiere a la facilidad con la que un explosivo puede iniciarse o detonarse por un estímulo externo, como impacto, calor, o fricción. Esta propiedad es crucial para determinar la seguridad y la eficiencia de los explosivos en diversas aplicaciones, como la minería o la demolición.
Servomecanismo	Sistema de control que utiliza retroalimentación para ajustar automáticamente la posición, velocidad o aceleración de un actuador, generalmente un motor, en respuesta a una señal de entrada.
Dispara y Olvida (fire and forget)	En el contexto militar se refiere a un tipo de arma que, una vez lanzada, no requiere más guía o intervención del operador para llegar a su objetivo. Este concepto, también conocido como "fire and forget".
Tren explosivo	Es una secuencia de eventos que culmina en la detonación de explosivos.
1 Pulgada	Equivale a 0,0254 metros.
1 Libra	Equivale a 0,453592 kilogramos.
1 Pie	Equivale a 0,30480 metros.





EVENTOS HISTORICOS

Guerras Balcánicas

Las Guerras Balcánicas fueron dos conflictos ocurridos en la península de los Balcanes entre 1912 y 1913. La primera guerra enfrentó al Imperio Otomano contra la Liga de los Balcanes (Bulgaria, Grecia, Montenegro y Serbia) y resultó en la pérdida de territorio otomano en Europa. La segunda guerra enfrentó a la Liga de los Balcanes entre sí por el reparto de los territorios conquistados, principalmente por el control de Macedonia.

Primera Guerra Mundial

La Primera Guerra Mundial, conocida también como la Gran Guerra, fue un conflicto bélico mundial, iniciado en 1914 hasta 1918, involucrando a casi todos los países de Europa, a naciones en Asia, África, América y Oceanía. Se enfrentaron dos grandes coaliciones: los Aliados o Entente (Francia, Gran Bretaña, Rusia, Italia, Japón y a partir de 1917 Estados Unidos), y las Potencias Centrales (Alemania, Austria Hungría y el Imperio Otomano (actual Turquía)).

Guerra chino japonesa

La "guerra chino-japonesa" (o guerra sino-japonesa) se refiere a dos conflictos militares entre China y Japón: la Primera Guerra Sino-Japonesa (1894-1895) y la Segunda Guerra Sino-Japonesa (1937-1945).

Sobre la primera, Japón considera que China había intervenido en Corea y junto a eso la expansión imperialista que buscaba convertir a Japón en potencia regional.

Respecto de la segunda, surge porque Japón buscaba expandir su imperio en China, ocupando Manchuria en 1931 y luego invadieron otras regiones en 1937. China resistió con el apoyo de la Unión Soviética y Estados Unidos. Esta Guerra duró desde 1937 a 1945.

Guerra de Etiopía

Llamada segunda guerra italo-etíope, fue un conflicto armado de siete meses de duración, que se libró entre octubre de 1935 y mayo de 1936, donde tropas italianas invadieron Etiopía.

**Guerra civil española**

Conflicto bélico que enfrentó a las fuerzas republicanas contra los militares sublevados bajo el mando del general Francisco Franco (mas tarde denominado Bando Nacional). Este conflicto, que se desarrolló entre 1936 y 1939, tuvo profundas consecuencias en la historia y la sociedad Española. Varias Potencias tomaron partido en esta Guerra apoyando con tropas y material belico. (Alemania, Italia y Portugal al bando nacional y Unión Soviética, Francia, Inglaterra y México al bando republicano).

Segunda Guerra Mundial

La Segunda Guerra Mundial fue un conflicto militar global que se desarrolló entre 1939 y 1945, involucrando a la mayoría de las naciones del mundo y dividiéndolas en dos alianzas principales: los Aliados y las Potencias del Eje. La guerra culminó con la victoria de los Aliados y tuvo un impacto devastador en términos de vidas perdidas, destrucción y cambios políticos y sociales.

EJE formado por Alemania, Italia y Japón.

ALIADOS conformado por Reino Unido, Francia, Unión Soviética, Estados Unidos.

Guerra de Corea

Conflicto bélico que se desarrolló en la península de Corea entre 1950 y 1953, marcando el primer conflicto armado de la Guerra Fría. Corea del Norte, con apoyo de China y la Unión Soviética, invadió Corea del Sur que recibió apoyo de Estados Unidos y otras naciones bajo los auspicios de la ONU. El conflicto finalizó con un armisticio que dejó la península dividida en dos estados.

Guerra de Vietnam

La guerra de Vietnam fue un conflicto bélico que se extendió entre 1955 y 1975, enfrentando a Vietnam del Sur (apoyado por Estados Unidos) contra Vietnam del Norte y el Viet Cong (guerrilla comunista en el sur). Este conflicto fue parte de la Guerra Fría y se desarrolló en la península de Indochina. Finaliza con el triunfo de Vietnam del Norte conquistando todo el territorio de Vietnam del Sur.

**Ofensiva de pascua
(Guerra de Vietnam)**

La ofensiva de Pascua fue un ataque militar lanzado por Vietnam del Norte contra Vietnam del Sur en 1972, durante la guerra de Vietnam. El ataque perseguía el objetivo de desmoralizar al ejército del sur, llevarlo hasta su desmoronamiento y conseguir la deseada reunificación del país. Aunque el general Vo Nguyen Giap lanzó casi todas las fuerzas con las que contaba su ejército, no obstante la resistencia del Ejército de Vietnam del Sur, errores estratégicos y tácticos, además de la intervención de aviones y barcos estadounidenses, hicieron fracasar la operación.

**Pacto del Atlántico Norte
OTAN**

La Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) también conocida como la Alianza Atlántica, es una alianza militar internacional que se rige por el Tratado del Atlántico Norte o Tratado de Washington, firmado el 4 de abril de 1949. La organización constituye un sistema de defensa colectiva, en el cual los Estados integrantes acordaron defender a cualquiera de sus miembros que sea atacado por una potencia externa.

La sede de la OTAN se encuentra en Bruselas (Bélgica) y sus 32 Estados miembros abarcan la América del Norte y Europa.

Pacto de Varsovia

El Tratado de Amistad, Colaboración y Asistencia Mutua, más conocido como Pacto de Varsovia por la ciudad en la que fue firmado, fue un acuerdo de cooperación militar firmado el 14 de mayo de 1955 por los países del bloque del Este durante el período conocido como Guerra Fría. Diseñado bajo el liderazgo de la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS), su objetivo expreso era contrarrestar la amenaza de la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN, fundada en 1949) y, en especial, el rearme de la República Federal Alemana, a la que el tratado fundacional de la Comunidad Europea de Defensa permitía reorganizar sus fuerzas armadas.

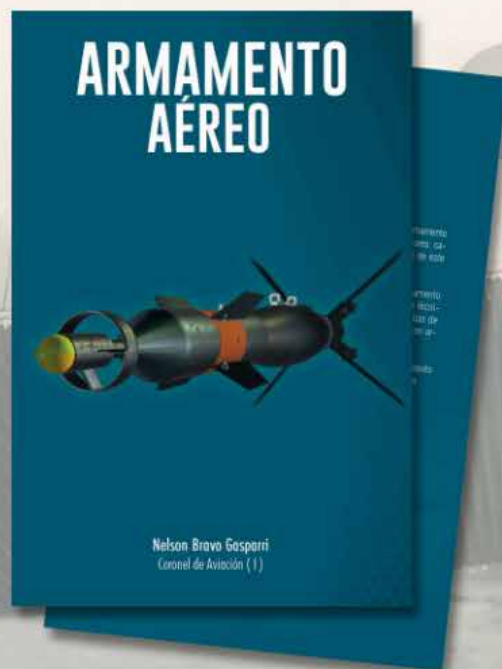
Con la caída del muro de Berlín en 1989 (reunificación de Alemania y disolución de la URSS en 1991, el Pacto se disolvió.



Tormenta del desierto	La Guerra del Golfo (también conocida como Segunda Guerra del Golfo para diferenciarla de la anterior guerra entre Irán e Irak y la posterior guerra de Irak) fue un conflicto armado entre Irak y una coalición de 42 países liderada por Estados Unidos. Los esfuerzos de la coalición contra Irak se llevaron a cabo en dos fases clave: la Operación Escudo del Desierto, que marcó el aumento de la presencia militar desde agosto de 1990 hasta enero de 1991; y la Operación Tormenta del Desierto, que comenzó con la campaña de bombardeos aéreos contra Irak el 17 de enero de 1991 y concluyó con la liberación de Kuwait liderada por Estados Unidos el 28 de febrero de 1991.
Operación Cañón Dorado	El bombardeo de los Estados Unidos sobre Libia de 1986, nombre en clave "Operación El Dorado Canyon", hace referencia a la acción militar realizada por Estados Unidos sobre Libia, compuesta por el conjunto de ataques aéreos contra el país africano ocurridos el 15 de abril de 1986 por la Fuerza Aérea, la Armada y la Infantería de Marina estadounidenses. La operación se llevó a cabo en respuesta al atentado terrorista contra una discoteca de Berlín Occidental, 10 días antes.
Guerra Fría	Enfrentamiento político, económico, social, ideológico, militar y propagandístico que tuvo lugar después de la Segunda Guerra Mundial entre dos bloques principales: Occidental (capitalista) y Oriental (comunista). Estos bloques estaban liderados por los Estados Unidos y la Unión Soviética respectivamente, concluyendo en el año 1991 con la disolución de esta última potencia.
Guerra de Kosovo	Conflicto que tuvo lugar entre 1998 y 1999, principalmente entre el Ejército de Liberación de Kosovo (ELK) y las fuerzas de seguridad de la República Federal de Yugoslavia, con la intervención de la OTAN.



OTRAS PUBLICACIONES



ARMAMENTO AÉREO
Septiembre 2018



En estas páginas el autor describe en un lenguaje sencillo y preciso el desarrollo de las bombas de aviación que utilizan las aeronaves, otorgando al texto una impronta orientadora que guía a sus lectores, sean cadetes, alumnos u otros integrantes de la Institución que se inician en el estudio de esta área del quehacer militar.

El autor aborda el tema a partir de un resumen de la historia del desarrollo desde las primeras bombas de aviación que fueron utilizadas en 1911 en el desierto de Libia, destacando la acción visionaria del oficial del ejército italiano Teniente Giulio Gavotti, para en los capítulos siguientes describir los principales componentes de este armamento aéreo, tipos de espoletas, estabilizadores utilizados, sistemas de guiado de este tipo de bombas, tipos de explosivos que transporta, junto a una detallada descripción de aquellas funciones que cumplen en base a su diseño.

De esta forma, este escrito está dirigido a todo aquel que tenga interés y sienta la motivación de conocer y comprender, desde el punto de vista técnico, este apasionante tema que involucra a la Fuerza Aérea de Chile.

ISBN: 978-956-425-268-1



9 789564 252681