

LOS PROYECTILES DIRIGIDOS Y SUS SISTEMAS DE PROPULSION

Capitán de Corbeta

GABRIEL DÍAZ RODRIGUEZ

Con el propósito de ser una arma militar efectiva, un proyectil dirigido (**Missile**) debe moverse a gran velocidad con el fin de tener mejores probabilidades de interceptar los Missiles o aviones enemigos cuando se emplee defensivamente y disminuir las posibilidades de ser interceptado cuando se emplee ofensivamente.

Los proyectiles dirigidos se mueven en la dirección y a la velocidad deseada en respuesta a fuerzas que les aplican.

Estas fuerzas son producidas por el sistema de propulsión (planta de potencia).

El propósito de este artículo es discutir brevemente los medios disponibles para impulsar los proyectiles dirigidos.

El método más fácil de obtener movimiento en un proyectil dirigido es el de elevarlo sobre la superficie de la tierra y dejarlo caer libremente. En este caso la potencia motora es suministrada por el empuje gravitacional de la tierra (un cuerpo cayendo libremente es acelerado a la rata aproximada de 32 pies por segundo cuadrado).

Cuando un cuerpo cae dentro de la atmósfera terrestre, es acelerado tantas veces hasta que su arrastre aerodinámico equilibra la fuerza de gravedad que lo hala para la tierra.

El cuerpo en este momento ha alcanzado su velocidad final o máxima, la cuál aunque puede ser de varios cientos de miles por hora, es aún insuficiente para muchas de las aplicaciones de los proyectiles. Si lo con-

trolamos, un proyectil de esta naturaleza, es una bomba de gravedad controlada.

El control de tales proyectiles se obtiene por el movimiento de superficies Aerodinámicas (Alerones y timones) en respuesta a señales de control.

Proyectiles de este tipo se han usado con mucha efectividad, estas bombas de gravedad controlada tienen muchas limitaciones y otras fuentes de potencia motriz, se usan más extensamente en los proyectiles dirigidos.

Para llenar el requisito de que algunos proyectiles dirigidos se muevan a alta velocidad es necesario impulsarlos de otra manera.

Este requisito se ha llenado usando el sistema de propulsión a chorro (Jet). Estos sistemas son esencialmente plantas de potencia de alta velocidad y por consiguiente apropiados para el uso de los proyectiles dirigidos. A continuación discutiremos los principios generales de la propulsión Jet y los diferentes tipos de motores Jet térmicos usados en los proyectiles dirigidos.

Principios de la propulsión Jet

Los sistemas de propulsión Jet se clasifican como motores de reacción porque operan sobre los principios de la reacción.

Este principio fue establecido por primera vez, en la tercera ley del movimiento de **Sir Isaac Newton**, la cual dice que para cada acción hay una reacción igual y opuesta. Esto

significa que si un hombre empujando un carro ejerce una fuerza de 150 libras sobre él, este ejerce una fuerza igual y opuesta de 150 libras sobre el hombre.

Este principio que muestra que todos los cambios de movimiento son el resultado de fuerza aplicadas y su reacción, es aplicable a todos los tipos de motores además de los Jets. En el avión de propulsión por hélice, cierta cantidad de aire pasa a través de las aspas de las hélices y aumenta la velocidad de este aire en una dirección opuesta a la del movimiento del avión.

Alguna fuerza debe actuar sobre el aire para que lo acelere hacia atrás. Ya que todo movimiento es el resultado de aplicar una fuerza... la hélice, movida por el motor de émbolos, suministra la fuerza motriz necesaria para aumentar el momento del aire, y una fuerza igual y opuesta o de reacción, es la que realmente mueve los aviones a través del aire. El aire pasa a través del avión pero no arrojado desde el motor.

En la propulsión Jet, el aire es aumentado de momento y arrojado desde dentro del motor. Este hecho hace la propulsión Jet diferente a las demás formas de propulsión.

El principio de la propulsión Jet se ilustra bien cuando un hombre dispara un rifle desde el hombro e inmediatamente siente el culatazo. Este culatazo es la reacción igual y opuesta a la fuerza que empuja la bala desde la boca del rifle, la bala es el objeto lanzado y la fuerza que lo

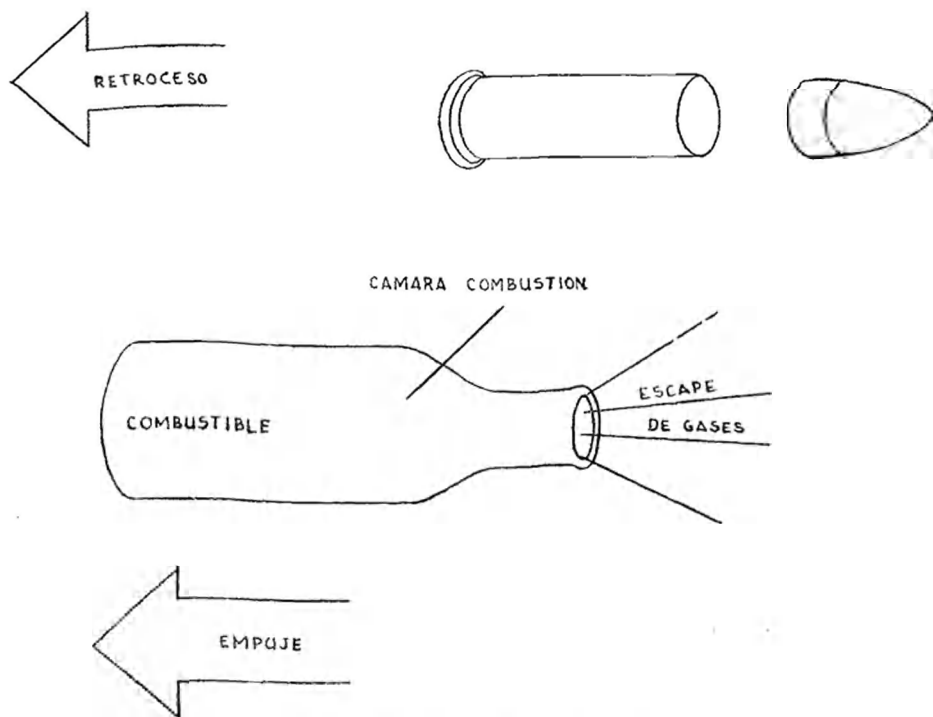


Fig. 1 — Principio de la propulsión a chorro.

acelera desde velocidad cero hasta casi 2.700 pies por segundo-, es la fuerza de presión desbalanceada creada por la explosión de la pólvora. Si el hombre estuviera sobre patines sin fricción y dispara varios tiros en rápida sucesión, los culatazos o reacción lo impulsarían en direcciones opuestas a la de las balas o materia arrojada.

Un tipo de motor Jet, el Rocket, es muy similar al fusil o a cualquier cañón normal. La cámara de combustión corresponde a la vainilla en el fusil y la tobera corresponde a la boca del fusil, ilustrada en la figu-

ra 1. Cuando se dispara el fusil, la pólvora se quema, y se generaran gases a alta presión y temperatura. Estos gases tratan de expandirse en todas las direcciones con la misma fuerza pero la vainilla evita la expansión con excepción de la boca del fusil y los gases únicamente escapan empujando la bala fuera del cañón.

En el Rocket (Cohete) el combustible se quema en la cámara de combustión y un enorme volumen de gases es generado a alta temperatura y presión. Como no hay bala para empujar afuera, como el caso del fusil, estos gases escapan a través de la

tobera, a velocidades extremadamente altas (Aproximadamente) 5.000 pies por segundo. La reacción (regulada) del fusil, es muy corta en duración porque solo una pequeña cantidad de pólvora se quema en tiempo corto.

En el cohete sin embargo, el combustible se quema por un largo tiempo y la expulsión de billones de moléculas de gases originan una reacción sostenida la cual es el empuje del cohete.

Esta discusión muestra que la reacción que empuja un motor Jet, ocurre dentro del motor y no como el resultado de los gases del exosto empujando contra el aire (Se anota el hecho que los principios de la balística interior de los cañones, son generalmente aplicables en los sistemas de propulsión de los misiles).

Un cañón disparado en el vacío debe retroceder con casi la misma fuerza con que lo haría en el aire. Similarmenete un Missile de propulsión Jet que provee el transporte del oxidante necesario para la combustión puede operar en el vacío, bajo el agua, o a mucha altura.

En efecto un motor cohete alcanza su operación más eficiente en el vacío. Lo opuesto es válido para los vehículos propulsados a hélice porque el empuje hacia adelante depende del aire como fuerza de resistencia.

Clasificación de los motores a Chorro (Jet) Térmicos.

Los motores a chorro usados en los proyectiles dirigidos dependen de la

energía del calor para acelerar el elemento arrojado, y son llamados **Jet Térmicos**.

La energía del calor es suministrada por una reacción química, usualmente un proceso de oxidación. Para que este proceso de oxidación ocurra, se requieren dos sustancias, el Combustible y el Oxidante que tiene gran cantidad de oxígeno.

Los Jet Térmicos se clasifican por la manera como obtengan el oxígeno. Las dos clases principales son los cohetes (Rocket) los cuales llenan su propio oxidante y el combustible, y los chorros (Jet) atmosféricos los cuales emplean el oxígeno de la atmosfera.

El cohete opera independiente de lo que rodea, mientras que el Jet Atmosférico es un motor que respira aire, y tiene limitada su operación a la atmosfera de la tierra.

Los Rocket se componen de tres partes principales. El Propulsor, la Cámara de combustión y la Tobera.

El propulsor es la combinación del combustible y el oxidante necesarios para la reacción química, que generará los gases que son acelerados hasta altas velocidades y pasan a través de la Tobera del exosto.

Los cohetes se clasifican de acuerdo al estado del propulsor que emplean: Sólido o líquido. El cohete de propulsión sólida es notable por su simplicidad y es usado en la mayoría de los Missiles lanzados desde buques. Polaris Tartar, Terrier y Talos son ejemplos de este tipo de proyectil.

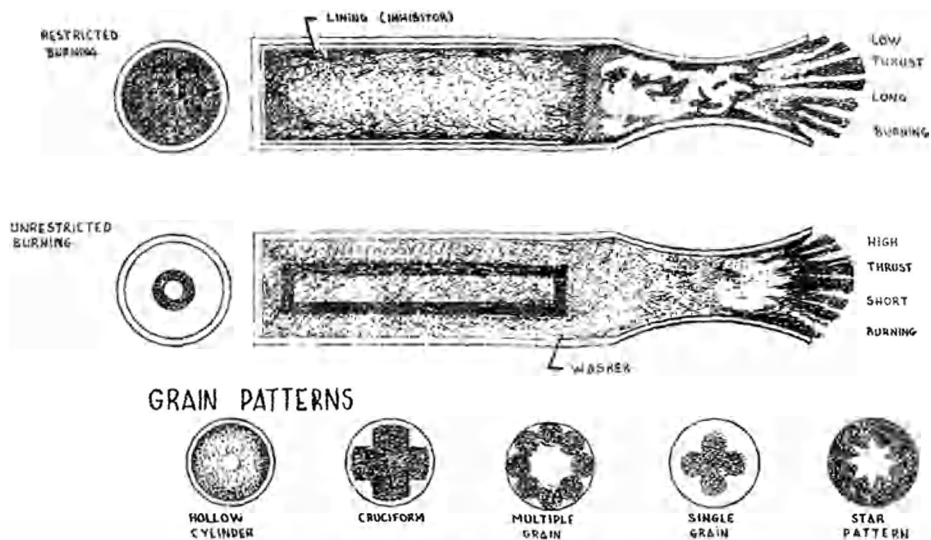


Fig. 2 — Tipos de propulsores sólidos.

El cohete de propulsión líquida es mucho más complicado que el de propulsión sólida; debido a que puede ser enfriado efectivamente y su flujo controlado por válvulas; los cohetes de propulsión líquida pueden operar por periodos de tiempos largos y son aplicables a los **Missiles** de largo alcance.

Hay dos tipos principales de cohetes de propulsión sólida: de Combustión restringida y de combustión sin restringir, mostrados en la figura dos.

En el cohete de combustión restringida, al combustible se le permite quemar una sola superficie al mismo tiempo. Un ejemplo de esta combustión es la manera de como se quema un cigarro. En el cohete de combustión sin restringir el combustible se quema en varias superficies a la vez, como resultado un empuje relativa-

mente alto se produce, pero dura solamente un corto periodo de tiempo como se indica en la figura dos.

Diferentes cantidades de empuje se obtienen con el uso de diferentes patrones de granos de combustible, algunos de los cuales se muestran en la figura.

En los casos de combustible sólidos de combustión restringida y de combustión sin restringir, es esencial que el combustible no explote, pues está almacenado todo, en la cámara de combustión. Se debe entender claramente que el combustible se quema a una rata definida y controlada y no explota.

Para iniciar el proceso de la combustión, alguna forma de cebo detonado electricamente se emplea al encender la carga de pólvora sin humo o negra la cual a su vez encien-

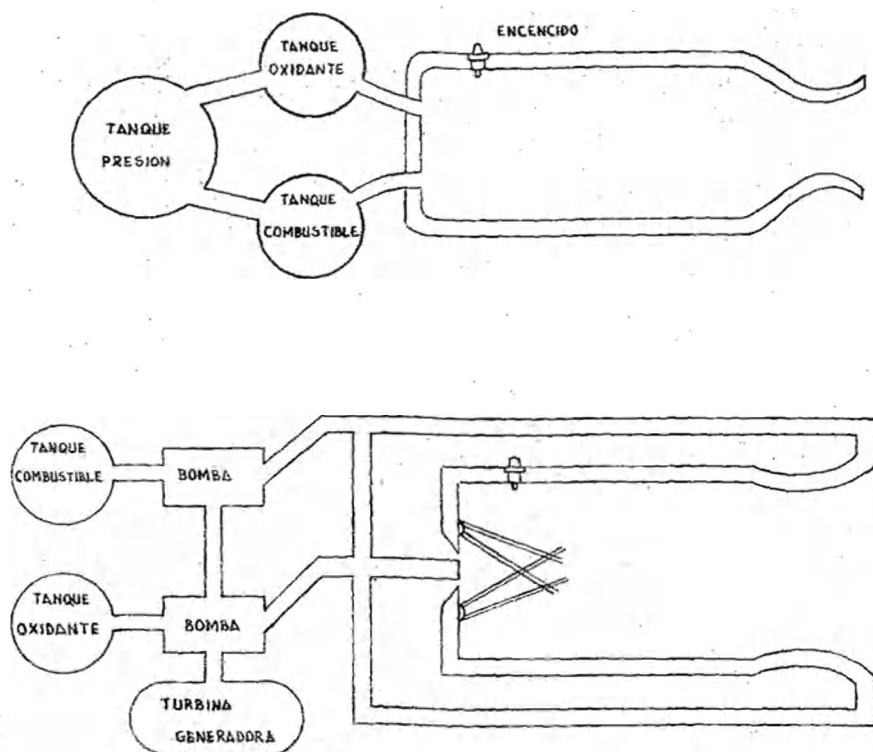


Fig. 3 — Rockets de propulsor líquido.

de el combustible, (no confundir el cebo con un detonador, el cual explota).

Un cebo es precisamente un piro-técnico que combuste para generar calor.

En los cohetes de combustible líquido, el combustible es alimentado en la cámara de combustión a una rata controlada. Los principales componentes del cohete de combustible líquido son: 1. Tanques de almacenamiento del propulsor: combustible y oxidante. 2. Un sistema de alimentación para introducir el combustible y el oxidante en la cámara de com-

bustión a la rata deseada. 3. Una cámara de combustión y 4. Una tobera.

Los cohetes de combustible líquido se dividen en dos clases: Por bombas o a presión como se ve en la figura 3.

Cualquier tipo debe ser construido de manera que el enfriamiento de la cámara de combustión sea verificado por la circulación del combustible a su alrededor como se muestra en la figura 3.

Debido a que los cohetes transportan el combustible y el oxidante, el consumo específico del combustible (las libras de propulsión consumida

por hora por libra de empuje) es mucho más alto que el de los Jet (chorros) térmicos. El empuje desarrollado es esencialmente constante e independiente de la velocidad del cohete.

Jet Atmosféricos. Los Jet (chorros) atmosféricos toman el aire de la atmosfera le aumentan su presión y lo alimentan dentro de la cámara de combustión en donde lo cambian con el combustible. Hay dos métodos básicos para aumentar la presión del aire recibido; usando un compresor mecánico o utilizando la acción de un difusor (ducto de sección circular va-

mente en los Missiles de largo alcance por su reducido consumo específico de combustible, además el turbojet es el único jet atmosférico capaz de producir suficiente empuje estático (empuje producido con el vehículo sin movimiento) para permitir al Missile despegar por sus propios medios. Los turbojet se clasifican de acuerdo al tipo de compresor empleado. Los dos tipos en uso son. El de flujo Centrifugo o radial y el de flujo axial mostrado en la figura 4.

El **Pulsejet** (chorros de pulsación) llamado a veces **Jet Intermitente** o

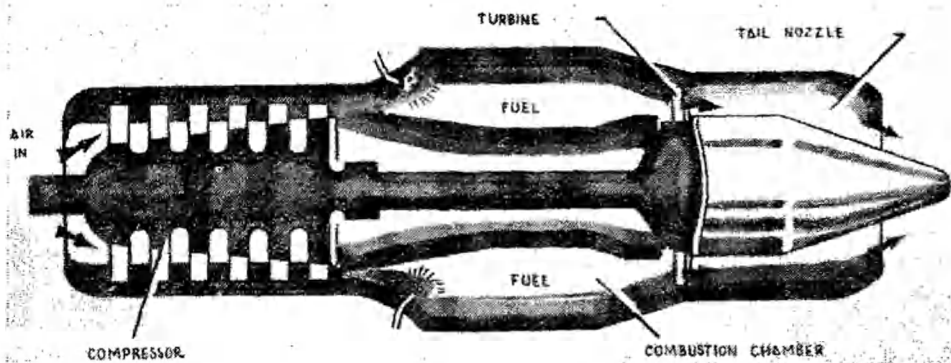


Fig. 4 — Turbojets.

riante diseño para convertir el flujo de aire a altas velocidades en un flujo de aire de baja velocidad aumentando la presión).

Los tres tipos de jet atmosféricos son **El Turbojet**, **El Pulsejet**, y **El Ramjet**.

El Turbojet es el único tipo de Jet atmosférico que emplea compresor mecánico, son empleados particular-

Ramjet. Es otro ejemplo de jet térmico atmosférico, se caracteriza por su operación pulsante la cual es controlada por un banco de válvulas de aire localizadas en la parte de atrás del difusor (fig. 5). Estas válvulas son accionadas por resortes y normalmente están abiertas de manera que el aire pueda pasar a la cámara de combustión, se mezcla con el combustible y enciende.

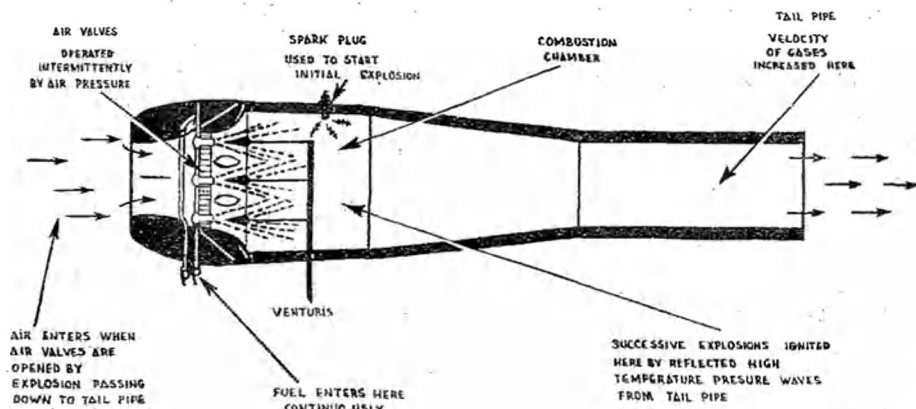


Fig. 5 — Ciclo de operación del pulsejet.

La combustión resultante generará gases de alta presión los cuales se expanden en todas direcciones. La presión dentro de la cámara de combustión supera la tensión de los resortes, cerrando las válvulas de aire, lo cual obliga a los gases a expandirse hacia afuera por el tubo de cola, el escape de los gases reduce la presión en la cámara de combustión y los resortes abren las válvulas de aire. Esto permite que el aire entre de nuevo a la cámara de combustión repitiéndose la combustión. Este ciclo se repite aproximadamente 50 veces por segundo. Los Pulsejets desarrollan aproximadamente 500 libras de empuje por pie cuadrado de área bajo condiciones estáticas y 780 libras de empuje a una velocidad aproximada de 350 millas por hora.

Este aumento en el empuje se debe al aumento en la compresión del aire por el difusor. La máxima velocidad del pulsejet es de aproximadamente 450 millas por hora y su

consumo específico de combustible es de un sexto de el de los rockets pero es más alto que el turbojet. Los pulsejet son económicos, ligeros, ruidosos y limitados a baja velocidad. Tienen aplicaciones limitadas como plantas de potencia en vehículos de prueba.

El Ramjet. (Autoteactor) el cual es llamado a veces **Flyng Stovepipe** o **Athodyd**, es un jet térmico sin compresor, como el pulsejet, pero difiere de el, sin embargo, en que no tiene banco de válvulas para limitar el flujo de los gases en una dirección como se muestra en la figura 6. El proceso de la combustión en el ramjet es continuo mientras que en el pulsejet es intermitente. El ramjet utiliza la acción del difusor para crear una "Barrera de presión", la cual evita que los gases escapen en la dirección delantera.

Para que esta acción ocurra en el difusor del ramjet debe ser impulsado a la velocidad requerida y por

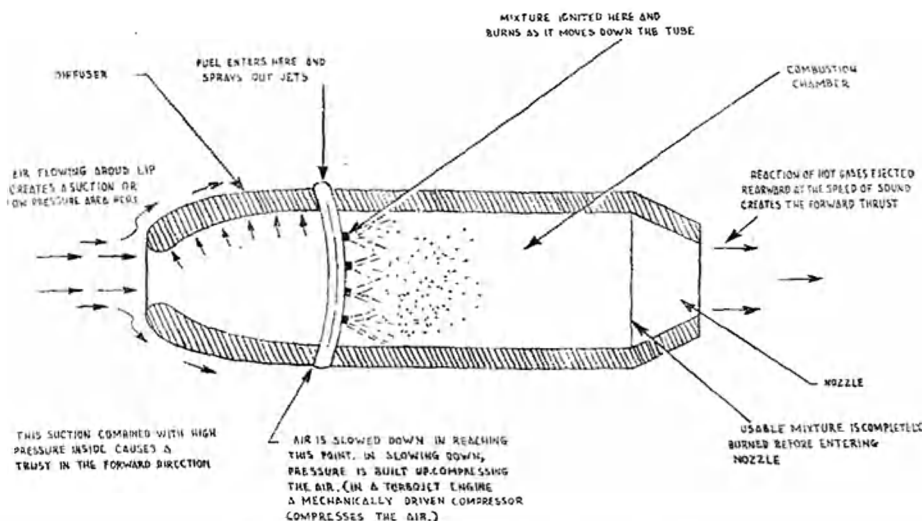


Fig. 6 — Ciclo de operación del ramjet.

consiguiente no produce empuje estático.

Los ramjet se clasifican de acuerdo a su velocidad de operación en subsónicos y supersónicos, ambas clases operan de la manera mostrada en la figura. La diferencia básica está en el diseño del difusor. El ramjet tiene consumo específico de combustible mayor que el turbojet, pero a velocidades supersónicas la relación del peso del motor a los caballos de fuerza desarrollados es bastante superior a los de cualquier otro jet atmosférico.

Los ramjet están limitados en alcance únicamente por la cantidad de combustible que pueden llevar y pueden operar hasta altura de 90.000 pies.

Los proyectiles dirigidos deben viajar a velocidades supersónicas para

reducir la efectividad de las contramedidas a un mínimo. Los jet térmicos descritos tienen características de operación diferente por ejemplo el turbojet tiene consumo específico de combustible bajo el pulsejet es sencillo y económico de construir, el rocket no tiene limitada su operación a la atmósfera terrestre y el ramjet debe ser lanzado a suficiente velocidad para su operación. Cada tipo de motor jet tiene una aplicación definida en los misiles, debido a la gran variedad de requisitos en sistemas de dirección, lanzamiento, velocidad y uso táctico.

Ningún tipo solo es el sistema de propulsión ideal.

Unidades de propulsión empleando la energía nuclear como fuente de calor para producir empuje se encuentran en la etapa de desarrollo.

Lanzamiento de los proyectiles dirigidos.

Los proyectiles dirigidos son disparados desde estructuras metálicas llamadas plataformas (Launchers) las cuales proveen los medios para poner el proyectil en el aire y que vuele en la dirección correcta. Algunas plataformas proveen la dirección inicial obligando al vehículo a moverse en la ruta deseada durante un corto intervalo después del disparo. Otras simplemente ponen el proyectil a la altura apropiada después del disparo y ejercen un poco o ningún control después. Este tipo se emplea a bordo de los buques y es llamado plataforma de tiempo cero (Zero-length).

El tipo del equipo de lanzamiento aplicable a un proyectil específico esta determinado principalmente por la cantidad de aceleración que el fuselaje y los componentes interiores pueden tolerar, sus características de vuelo y el empuje desarrollado por su sistema de propulsión en el momento del lanzamiento....

Tan pronto como deje la plataforma el proyectil debe estar en un vuelo estable y pudiendo estar o no bajo el control de su sistema de dirección, la cantidad de aceleración permitida determina el tiempo que el vehículo puede ser controlado por la plataforma y esto a su vez determina la complejidad y tamaño de la plataforma en sí.

Los proyectiles que desarrollan grandes cantidades de empuje y que

pueden tolerar grandes aceleraciones requieren plataformas más cortas que las que se necesitan para proyectiles de baja aceleración y bajo empuje, pero igual velocidad de operación; los proyectiles de propulsión cohetes (Rockets) se pueden lanzar desde plataformas simples. Los jets atmosféricos requieren plataformas grandes y también la existencia de equipos para producir empuje externo.

El empuje auxiliar puede ser suministrado por la plataforma misma actuando con una catapulta, o también empleando impulsores o reforzadores (Boosters) los impulsores se emplean en la mayoría de los proyectiles Navales. Los impulsores de los proyectiles dirigidos son aparatos para producir empuje adicional que se le agrega al proyectil para darle la aceleración inicial.

El impulsor es usualmente un motor cohete de combustible sólido sin restringir.

El impulsor es similar en principio a las unidades **Jato** usadas en los portaviones (Asistente de despegue para jet) en la mayoría de los casos se depende del proyectil después que terminan de suministrar empuje.

La mayoría de los missiles de los buques se disparan con la ayuda de impulsores con el propósito de hacer el proyectil pequeño y liviano llevando el vehículo a la velocidad de operación a corta distancia del sitio del lanzamiento.